ВЕСТНИК

Сибирского государственного
аэрокосмического университета
имени академика М. Ф. Решетнева

Выпуск 3 (16)

Главный редактор
доктор экономических наук
профессор
Г. П. Беляков

Заместитель главного редактора
доктор технических наук
профессор
Л. Г. Шаймарданов

Редакционная коллегия:
Т. В. Зеленская,
М. В. Краев,
А. Н. Ловчиков,
А. В. Медведев,
В. А. Охорзин,
К. Г. Охоткин (отв. секретарь),
А. С. Паршин,
З. Г. Сангадиев,
С. И. Сенашов,
В. Г. Сомов,
Ю. А. Филиппов

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

Издание зарегистрировано
Федеральной службой
по надзору за соблюдением законодательства
в сфере массовых коммуникаций
и охраны культурного наследия

Издание включено 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»

© Сибирский государственный аэрокосмический
университет имени академика М. Ф. Решетнева, 2007
© Коллектив авторов, 2007

Редакторы Ю. С. Погуца, В. Ю. Палаваева
Компьютерная верстка А. А. Филонова
Подп. в печать 25.09.2007. Формат 70×108/16.
Бумага офсетная. Печать плоская. Усл. печ. л. 16,27.
Уч.-изд. л. 25,67. Тираж 500 экз. Заказ 970. С 63/7.
Редакционно-издательский отдел
Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та.
660014, г. Красноярск,
просп. им. газ. «Красноярский рабочий», 31.
Отпечатано в типографии «Город».
660028, г. Красноярск, ул. Водопьянова, 2-241.

УДК 681.3.07

М. Н. Фаворская

ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МЕТОДЫ СЕГМЕНТАЦИИ ВИДЕОПОТОКА КАК ЗАДАЧА С НЕДОСТАЮЩИМИ ДАННЫМИ

Приводится классификация вероятностных методов сегментации изображений. Подробно рассмотрен подход, основанный на методе максимального правдоподобия. Приведена формальная постановка задачи с недостающими данными, а также предложен алгоритм ее реализации. Анализируется задача сегментации видеопотока на основе модели многоуровневого движения.

Сегментация изображений в общем случае представляет собой одну из самых сложных задач обработки изображений. Цель сегментации состоит в разделении изображения на составляющие его области или объекты. При этом степень детализации зависит от решаемой задачи, иными словами, сегментацию следует прекратить, когда интересующие объекты оказываются изолированными. Существуют различные методы сегментации объектов из видеопотока, которые можно разделить на две группы:

– пороговые методы сегментации, основанные на резких изменениях базовых свойств сигналов (яркости, разрывности, связности пикселей) и предназначенные для выращивания, слияния и разбиения областей;

– вероятностные методы сегментации, использующие разбиение изображения на однородные в смысле заранее выбранных критериев области и позволяющие построить модель переходов пикселей одного кадра в пиксели другого кадра.

Вероятностные методы сегментации относятся к задаче с недостающими данными. Рассмотрим задачу сегментации видеопотока на движущиеся области, которая заключается в сопоставлении моделей движения «перемещающимся» пикселям. Предположим, что в каждом пикселе изображения вычисляется d-мерный характеристический вектор $\boldsymbol{X}$, в котором собрана информация о положении, цвете и текстуре. Данный вектор может содержать различные представления цвета и выходные реакции набора фильтров, центрированных на конкретных пикселях. Моделирование изображения заключается в том, что каждый пиксель считается порожденным одним из g сегментов изображения, имеющим соответствующую плотность распределения. Таким образом, для получения пикселя выбирается сегмент изображения, а затем по функции плотности распределения генерируется пиксель.

Предположим, что сегмент S_l выбирается с вероятностью P_l, а плотность распределения определяется гауссианом с параметрами $\theta_l = (\mu_l, \sigma_l)$, зависящими от конкретного сегмента. Это означает, что вероятность генерации вектора пикселя можно записать в виде

$$P(\boldsymbol{X}) = \sum_l P_l \; P(\boldsymbol{X} / \theta_l).$$

Модель такого типа называется моделью смеси, поскольку она представляет собой взвешенную сумму элементов смеси, описываемых вероятностными моделями. Параметры P_l обычно называются весовыми коэффициентами элементов смеси. Модель смеси можно интерпретировать как обобщенную, когда осуществляется выбор l-го компонента модели с вероятностью P_l и производится выборка из условных вероятностей $P(\boldsymbol{X}/\theta_l)$. В этом случае модель представляет собой распределение плотностей вероятности в пространстве характеристических векторов, иными словами, модель состоит из набора g сегментов, каждый из которых соотнесен с фрагментом изображения. Требуется определить: а) параметры каждого сегмента; б) весовые коэффициенты элементов смеси и в) фрагмент изображения, породивший каждый пиксель.

Все указанные параметры запишем как вектор параметров, причем весовые коэффициенты обозначим как α_l, а параметры каждого фрагмента как $\theta_l = (\mu_l, \sigma_l)$. В результате получим вектор $\boldsymbol{\theta} = (\alpha_1, \ldots, \alpha_g, \theta_1, \ldots, \theta_g)$. Таким образом, модель смеси принимает следующий вид:

$$P(\boldsymbol{X}, \boldsymbol{\theta}) = \sum_{l=1}^{g} \alpha_l P_l(\boldsymbol{X} / \theta_l),$$

где плотность каждого компонента $P(\boldsymbol{X}/\theta_l)$ выражается гауссианом. Поскольку функция распределения вероятностей часто известна с точностью до значения параметров, то восстановление распределения вероятностей сводится к определению значений параметров на основе имеющейся выборки. Среди таких параметрических методов восстановления плотности распределения вероятностей наиболее эффективным является метод максимального правдоподобия, а также методы, основанные на байесовской оценке.

Метод максимального правдоподобия в задаче о восстановлении плотности распределения вероятностей в классе функций $P(\boldsymbol{X}/\theta_l)$ связан с исследованием функции правдоподобия Фишера. Функция правдоподобия равна [1]

$$\begin{aligned} L(\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, ..., \boldsymbol{X}_N / \boldsymbol{\theta}) = \\ = \prod_{j=1}^{N} \sum_{l=1}^{g} \alpha_l P_l(\boldsymbol{X}_j / \theta_l) = \\ = \prod_{j=1}^{N} P(\boldsymbol{X}_j, \boldsymbol{\theta}). \end{aligned} \qquad (1)$$

Эта функция задается на выборке $\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, \ldots, \boldsymbol{X}_N$. Если величины дискретны, то функция правдоподобия для каждого $\boldsymbol{\theta}$ определяет вероятность того, что случайная и независимая выборка образует последовательность $\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, \ldots, \boldsymbol{X}_N$. Если же величины непрерывны, то функция правдоподобия понимается как плотность совместного распределения величин $\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, \ldots, \boldsymbol{X}_N$. При этом каждой выборке может быть поставлена в соответствие своя функция правдоподобия. Метод максимального правдоподобия заключается в нахождении таких значения параметра $\boldsymbol{\theta}$, которые доставляют максимум функции (1). Иногда вместо данной функции рассматривается логарифмическая функция вида

$$\ln L(\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, ..., \boldsymbol{X}_N / \boldsymbol{\theta}) =$$
$$= \sum_{j=1}^{N} \ln \sum_{l=1}^{g} \alpha_l P_l(\boldsymbol{X}_j / \theta_l) = \quad (2)$$
$$= \sum_{j=1}^{N} \ln P(\boldsymbol{X}_j, \boldsymbol{\theta}).$$

Поскольку максимумы функций (1) и (2) совпадают, они могут быть найдены либо из уравнения

$$\frac{\partial L(\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, ..., \boldsymbol{X}_N / \boldsymbol{\theta})}{\partial \theta_j} = 0, \quad (3)$$
$$j = 1, 2, ..., m,$$

либо из уравнения

$$\frac{\partial \ln L(\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, ..., \boldsymbol{X}_N / \boldsymbol{\theta})}{\partial \theta_j} = 0, \quad (4)$$
$$j = 1, 2, ..., m.$$

Основное достоинство этого метода состоит в том, что для некоторых функций $P(\boldsymbol{X}/\theta_l)$, которые при достаточно большом объеме выборки аппроксимируются нормальным распределением, он обеспечивает асимптотическую несмещенность и асимптотическую эффективность оценки максимального правдоподобия. Если знать компонент, который породил пиксель, то вектор $\boldsymbol{\theta}$ определить просто. В этом случае для каждого элемента θ_l можно использовать оценку по принципу максимального правдоподобия. Тогда значение α_l – это доля компонента l в изображении. Если знать вектор $\boldsymbol{\theta}$, то для каждого пикселя можно определить компонент, который породил данный пиксель с наибольшей вероятностью.

Другой способ вычисления параметров распределения основан на применении формулы Байеса

$$P(\alpha / \boldsymbol{X}) = \frac{P(\alpha) P(\boldsymbol{X} / \alpha)}{P(\boldsymbol{X})}.$$

Этот способ называется байесовским принципом восстановления параметров. Предположим, что плотность распределения параметра $P(\alpha)$ заранее известна. Она характеризует предполагаемую возможность существования различных значений параметра а до проведения эксперимента. Апостериорная вероятность $P(\alpha/\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, \ldots, \boldsymbol{X}_N)$ характеризует такую же возможность после получения информации из экспериментальной выборки $\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, \ldots, \boldsymbol{X}_N$. Если эксперименты случайны и независимы, то с учетом функции правдоподобия (1) по формуле Байеса получаем

$$P(\alpha / \boldsymbol{X}) = \frac{P(\alpha) L(\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, ..., \boldsymbol{X}_N / \alpha)}{P(\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, ..., \boldsymbol{X}_N)},$$

где

$$P(\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, ..., \boldsymbol{X}_N) =$$
$$= \int_{\mathbf{S}} L(\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, ..., \boldsymbol{X}_N / \alpha) P(\alpha) \; d\alpha$$

для непрерывных α ($\boldsymbol{S}$ – множество сегментов изображения) и

$$P(\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, ..., \boldsymbol{X}_N) =$$
$$= \sum_{l=1}^{g} L(X_1, X_2, ..., X_N / \alpha_l) P(\alpha_l)$$

для дискретных α.

Теперь задача сводится к определению параметра а по известной величине $P(\alpha/\boldsymbol{X})$. Этот параметр можно определить как математическое ожидание вида

$$\boldsymbol{M}\alpha = \int_{\boldsymbol{S}} \alpha P(\alpha / \boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, ..., \boldsymbol{X}_N) \; d\alpha.$$

В качестве искомого значения параметра может быть выбрано такое значение а, которое доставляет максимум функции $P(\alpha/\boldsymbol{X})$.

Рассмотренные методы оценки не являются равнозначными ни по сложности их реализации, ни по эффективности. Главная сложность реализации метода максимального правдоподобия состоит в отыскании решения системы уравнений (3) и (4). Реализация байесовской стратегии связана с громоздкими вычислениями. Как правило, эта стратегия реализуется лишь тогда, когда удается провести аналитическое интегрирование выражения

$$\hat{P}(\boldsymbol{X}) =$$
$$= \int_{\boldsymbol{S}} \frac{P(\alpha) \; L(\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2, ..., \boldsymbol{X}_N / \alpha) \; P(\boldsymbol{X} / \alpha)}{P(\boldsymbol{X}_1, \boldsymbol{X}_2 ..., \boldsymbol{X}_N)} \; d\alpha. \quad (5)$$

Численное интегрирование выражения (5) представляет собой очень трудную задачу.

Также для оценки параметров распределения может быть использован метод стохастической аппроксимации, общая схема которой представляется следующей процедурой [1]:

$$\alpha[n] = \alpha[n-1] - g[n] \, Q(\boldsymbol{X}[n], \alpha[n-1]), \quad (6)$$

где $\boldsymbol{X}[n]$ – изменяемая в процессе эксперимента величина; $Q(\boldsymbol{X}, \alpha)$ – некоторый функционал от фиксированного вектора $\boldsymbol{X}$.

Для отдельных классов распределений (например, для экспоненциальных распределений) критерий оптимальности можно представить как выборочное среднее. Тогда если функционал $Q(\boldsymbol{X}, \alpha)$ – квадратичная функция относительно а, то алгоритмы стохастической аппроксимации приводят к тем же результатам, что и байесовы алгоритмы. Если же параметры а находить из условия максимума функции правдоподобия, т. е. $Q(\boldsymbol{X}, \alpha) = L(\boldsymbol{X}, \alpha)$, то получим оценки, равнозначные тем, которые получают по методу максимального правдоподобия.

Рассмотрим формальную постановку задачи с недостающими данными. Предположим, что имеются два пространства – полное пространство данных $\prod_x$ и неполное пространство данных $\prod_y$. Существует отображение f, переводящее пространство $\prod_x$ в пространство $\prod_y$. При таком отображении данные «теряются», порождая недостающие данные. В контексте сегментации изображения полный набор данных включает характеристики всех пикселей, а также набор переменных, указывающих, какой компонент смеси предоставил такие характеристики. Неполный же набор данных получается при отбрасывании второго набора переменных. Пусть также имеется пространство параметров $\prod_\upsilon$, состоящее из весовых коэффициентов компонентов смеси и параметров каждого компонента смеси. Задача заключается в нахождении оценки указанных параметров по неполному набору данных с применением одного из вероятностных методов. Наиболее приемлемым из рассмотренных методов является метод максимального правдоподобия, поскольку он

является компромиссным вариантом относительно других вероятностных методов с точки зрения сложности вычислений и величиной оценки потерь. Требуется найти оценку указанных параметров при наличии неполного набора данных.

Обозначим плотность вероятности полного набора данных как $P(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{u})$. Тогда логарифмическая функция вероятности полного набора данных в соответствии с формулой (2) запишется в виде

$$L(\boldsymbol{x}/\boldsymbol{u}) = \ln \prod_j P(\boldsymbol{x}_j, \boldsymbol{u}) = \\ = \sum_j \ln(P(\boldsymbol{x}_j, \boldsymbol{u})).$$

Если известно, какой сегмент породил каждый пиксель, то с помощью логарифмического правдоподобия можно оценить параметры каждого сегмента изображения. Проблема заключается в том, что имеющиеся данные являются неполными. Обозначим плотность вероятности при неполном наборе данных как $P(\boldsymbol{y}, \boldsymbol{u})$. Плотность вероятности для неполного пространства данных получается интегрированием плотности вероятности для полного пространства данных по всем значениям, равным $\boldsymbol{y}$. Таким образом,

$$P(\boldsymbol{y}, \boldsymbol{u}) = \int_{\Pi_y} P(f(\boldsymbol{x}), \boldsymbol{u})\, d\boldsymbol{x}.$$

Тогда функция правдоподобия для неполных данных в соответствии с формулой (1) записывается следующим образом:

$$L(\boldsymbol{y}, \boldsymbol{u}) = \prod_{j=1}^{N} P(\boldsymbol{y}_j, \boldsymbol{u}).$$

Оценку функции максимального правдоподобия можно сформировать для параметров $\boldsymbol{u}$ при неполных данных $\boldsymbol{y}$, найдя максимум логарифмической функции правдоподобия. Однако сделать это не просто, поскольку и интеграл, и процедура нахождения максимума могут быть довольно сложными. Таким образом, получаем не упрощаемое выражение вида

$$L(\boldsymbol{y}, \boldsymbol{u}) = \ln \prod_j P(\boldsymbol{y}_j, \boldsymbol{u}) = \\ = \sum_j \ln(P(\boldsymbol{y}_j, \boldsymbol{u})) = \\ = \sum_j \ln\left(\int_{\Pi_y} P(f(\boldsymbol{x}), \boldsymbol{u})\, d\boldsymbol{x} \right).$$

Поскольку при неполном наборе данных неизвестно, какой из множества векторов $\boldsymbol{x}$ соответствует наблюдаемому вектору $\boldsymbol{y}$, то построение функции правдоподобия неполных данных включает усреднение по всем векторам $\boldsymbol{x}$.

Можно предложить следующую стратегию решения данной задачи:

– получить некоторую оценку компонента, породившего характеристический вектор пикселя, используя значение θ_l;

– обновить значения θ_l и весовых коэффициентов элементов смеси по методу максимального правдоподобия, используя полученную оценку.

Данная процедура повторяется до схождения, хотя гарантия полной сходимости отсутствует, так как объем неполных данных на изображении не известен. Эта процедура является частным случаем общего алгоритма. Предположим, что логарифм функции правдоподобия полного набора данных представляет собой линейную зависимость по отсутствующим переменным. Напомним, что в модели смеси недостающими данными являются переменные, указывающие, из какого компонента смеси извлечен элемент данных. Для этого с каждой информационной точкой сопоставим вектор $\boldsymbol{z}$, имеющий g элементов. Если j-ая информационная точка поступила от l-го компонента смеси, то элемент z_{jl} равен единице, в противном случае он равен нулю. Следовательно, $\boldsymbol{x}_j = [\boldsymbol{y}_j, \boldsymbol{z}_j]$ и модель смеси можно переписать следующим образом:

$$P(\boldsymbol{y}) = \sum_l P_l\, P(\boldsymbol{y}, \boldsymbol{u}_l).$$

Поскольку логарифм функции правдоподобия для полного набора данных линеен по отсутствующим переменным, то он запишется в виде

$$\ln L(\boldsymbol{y}, \boldsymbol{u}) = \sum_j \left(\sum_{l=1}^{g} z_{lj} \ln P(\boldsymbol{y}_j / \boldsymbol{u}_l) \right).$$

Основная идея алгоритма заключается в следующей итеративной процедуре. На шаге n формируется ожидаемое значение полного набора данных на основе неполных данных и текущих значений параметров. Известно ожидаемое значение вектора $\boldsymbol{y}_j[n]$, поэтому требуется вычислить только ожидаемое значение вектора $\boldsymbol{z}_j[n]$ для каждого параметра j. Затем ожидаемое значение вектора $\boldsymbol{z}_j[n]$ подставляется в логарифмическую функцию правдоподобия полного набора данных и находится максимум относительно вектора $\boldsymbol{u}[n]$. В этот момент ожидаемые значения вектора $\boldsymbol{z}_j[n]$ могут изменяться. Таким образом, вычисляется величина

$$\boldsymbol{u}[n+1] = \arg \max_{\boldsymbol{u}} L(\boldsymbol{x}, \boldsymbol{u}[n]) = \\ = \arg \max_{\boldsymbol{u}} L([y / z[n]], \boldsymbol{u}[n]).$$

Можно показать, что логарифм функции правдоподобия неполного набора данных увеличивается на каждом этапе, что, в свою очередь, означает, что последовательность $\boldsymbol{u}[n]$ сходится хотя бы к локальному максимуму логарифма функции правдоподобия неполного набора данных [2]. Однако не существует гарантий, что данный алгоритм сходится к глобальному максимуму.

Если логарифмическая функция правдоподобия полного набора данных является нелинейной зависимостью от недостающих данных, то в этом случае подставлять ожидаемые значения переменных нельзя. Если известна оценка параметров $\boldsymbol{u}[n]$, то можно усреднить логарифмическую функцию правдоподобия полного набора данных по всем значениям полного набора данных, умноженных на весовой коэффициент. Весовой коэффициент означает вероятность каждого случая при заданной оценке параметров $\boldsymbol{u}[n]$ и основан на знаниях о неполном наборе данных. В результате получим функцию вида

$$Q(u, u[n]) = \int L(x, u)\, P([x / u[n]], \boldsymbol{y})\, d\boldsymbol{x},$$

которая представляет собой зависимость от оценки пара-

метров на предыдущем шаге итерации. Теперь найдем максимум данной функции относительно вектора $\boldsymbol{u}$:

$$\boldsymbol{u}[n+1] = \arg \max_{\boldsymbol{u}} Q(u, u[n]).$$

Полученное выражение показывает, что задача сводится к линейному случаю, описанному выше. Однако открытым остается вопрос задания стартовых значений рассмотренного алгоритма. Можно предложить следующую стратегию. Вначале следует выбрать число сегментов и построить набор вспомогательных отображений для каждого сегмента. Эти отображения будут содержать весовые коэффициенты, соотнесенные с пикселями внутри сегмента. Затем следует задать начальное состояние вспомогательных отображений, оценив параметры сегмента по небольшим блокам пикселей (и посчитав весовые коэффициенты) или случайным образом присвоив значения элементам изображения. В качестве параметров сегмента можно выбрать цветовые и текстурные характеристики пикселей (например, анизотропия, однородность, контрастность, локальный масштаб).

Применим рассмотренный выше вероятностный метод сегментации на основе вычисления функции максимального правдоподобия к анализу видеопотоков, снятых движущейся камерой. Видеопотоки часто состоят из больших сегментов, имеющих близкие параметры движения (направление, скорость, ускорение). Предположим, что дана последовательность из двух следующих друг за другом кадров, и требуется определить наличие движения в каждом пикселе первого кадра. Требуется определить набор уровней движения, которые сопоставляются с объектами, расположенными на различных расстояниях от движущейся камеры. При этом возникает впечатление, что объекты, расположенные ближе к камере, «перемещаются» быстрее, чем удаленные объекты. В этом случае модель движения можно назвать многоуровневой. Предположим, что для получения уровня движения используется модель смеси, причем сегменты не обязательно имеют гауссову плотность распределения. Базовая модель видеопотока основана на следующих фактах:

– в каждом пикселе текущего кадра имеется вектор движения, соединяющий его с пикселем следующего кадра;

– имеется набор различных параметрических уровней движения, каждое из которых получено на основе собственной вероятностной модели;

– общее движение определяется моделью смеси, т. е. чтобы отследить движение пикселей изображения, следует знать, к какому параметрическому уровню движения относится рассматриваемый пиксель, и определить вектор движения сегмента.

В данной модели определяется набор различных, но внутренне подобных уровней движения, которые отвечают твердым телам, расположенным на различном расстоянии от движущейся камеры и g сегментам на изображении. Предположим, что уровень движения задан в параметрической форме, и имеется h уровней движения. Для данной пары изображений требуется определить: а) уровень движения, к которому относится каждый пиксель; б) значения параметров каждого уровня. В такой постановке задача также сводится к задаче с недостающими данными. Отсутствующими данными являются либо неизвестный уровень движения пикселя, либо параметры каждого уровня и весовые коэффициенты элементов смеси. По известному уровню движения пикселя можно определить значения параметров этого уровня, и наоборот, зная значения параметров, можно установить, к какому уровню движения относится пиксель.

Пусть пиксель в точке с параметрами (u, v) первого изображения принадлежит l-му уровню движения, имеющему параметры θ_l. Это означает, что на втором изображении этот пиксель переместился в точку с параметрами $(u, v) + \boldsymbol{m}(u, v, \theta_l)$ и яркости этих двух пикселей $I_1(u, v)$ и $I_2(u, v)$ равны с точностью до ошибки измерения C. Уровень движения можно обозначить переменной $V_{uv,l}$, которая принимает значение единицы, если пиксель с параметрами (u, v) относится к l-му уровню движения, и нуль в противном случае. Предполагается, что на значения интенсивностей пикселей изображения влияет гауссов шум с дисперсией s. Тогда логарифм функции правдоподобия полного набора данных запишется следующим образом:

$$L(V, \boldsymbol{\theta}) =$$

$$= -\sum_{uv,l} V_{uv,l} \frac{(I_1(u, v) - I_2(u + m_1(u, v, \theta_l), v + m_2(u, v, \theta_l)))^2}{2\sigma^2} + C,$$

где $\boldsymbol{\theta} = (\theta_1, \ldots, \theta_g)$.

Далее следует определить величины вероятностей уровней движения:

$$P(V_{uv,l} = 1 \mid I_1, I_2, \boldsymbol{\theta}).$$

Данные вероятности представляют собой карты яркостного представления максимально вероятного уровня для каждого пикселя. Карта получается в процессе кластеризации локальных оценок движения на изображении. Каждый яркостный уровень определяет уровень движения, а каждый уровень движения связан со своей моделью движения, в качестве которой обычно выступает аффинная модель вида

$$\begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \end{pmatrix}(u, v, \theta_l) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix}\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} a_{13} \\ a_{23} \end{pmatrix},$$

где $\theta_l = (a_{11}, \ldots, a_{23})$.

Карту можно упростить, оставив только выбранный уровень движения, для того, чтобы проверить, насколько движение соседних пикселей согласуется с движением пикселей на предыдущих и последующих кадрах. Модель многоуровневого движения полезна по ряду соображений: во-первых, она связывает пиксели, «движущиеся» в одном направлении, во-вторых, имеется возможность определения границ движения, и в-третьих, последовательности кадров можно восстанавливать по имеющимся уровням движения, когда некоторые уровни отсутствуют.

Однако возможна ситуация появления посторонних объектов в зоне видеонаблюдения, поскольку модель не предсказывает частоту их появления. Как правило, вероятность появления посторонних объектов на изображении мала, и требуется уделить внимание «хвостовым» частям функции нормального распределения. Для этого можно построить явную модель посторонних значений, учитывающую взвешенную функцию правдоподобия P(измерения | модель) и член посторонних значений P(выбросы):

$$(1 - l)\, P(\text{измерения} \mid \text{модель}) + l\, P(\text{выбросы}),$$

где параметр l О [0, 1] моделирует частоту появления посторонних значений, а *P*(выбросы) – некоторая вероятностная модель посторонних значений.

При отсутствии априорных значений появления посторонних объектов можно принять, что вероятность их появления равномерна во всем диапазоне представленных данных.

Еще один сложный аспект заключается в оценке фона. Нахождение усредненного значения яркости фона по всем кадрам имеет недостаток, связанный с тем, что объект, длительно находящийся на одном месте, может сильно повлиять на среднее значение яркости. Данную задачу также можно рассматривать как задачу с недостающей переменной, считая, что к изображениям видеопотока добавлен шум, поступающий от некоторого равномерного источника (в данном случае неподвижного объекта). Тогда каждый пиксель, принадлежащий шуму, не относится к фону и не учитывается при его оценке.

Таким образом, намечены теоретические пути решения задач сегментации видеопотока при наличии недостающих данных. Показано, что наиболее приемлемым способом является применение итеративного подхода, основанного на методе максимального правдоподобия (вариант логарифмирования). Многоуровневая модель движения позволяет создавать карты яркостного представления уровней движения для анализа реальных ситуаций.

Библиографический список

1. Васильев, В. И. Распознающие системы : справ. / В. И. Васильев. Киев : Наукова думка, 1983. С. 422

2. Форсайт, Д. А. Компьютерное зрение. Современный подход : пер. с англ. / Д. А. Форсайт, Ж. Понс. М. : Вильямс, 2004. С. 928

M. N. Favorskaya

PROBABILISTIC METHODS OF VIDEOFLOW SEGMENTATION AS THE PROBLEM WITH MISSING DATA

It is devoted to classification of probabilistic methods for image segmentation. The approach based on the method of maximum probability is discussed in detail. The formal set up of problem with missing data is considered, also the algorithm of its realization is proposed. The problem of videoflow segmentation on basis of multilevel moving model is analyzed.

УДК 004.4

А. М. Кукарцев, С. А. Старовойтов, В. С. Шестаков

СРЕДА РАЗРАБОТКИ КОМПОЗИЦИОННЫХ КРИПТОСИСТЕМ

Представлен программный проект, решающий одну из основных задач прикладной криптографии – повышение скорости обработки данных в криптографической системе с сохранением заданного уровня безопасности. Реализована возможность описывать криптоалгоритмы в алгебраической форме. Проект выполнен на базе разработанного криптоязыка, максимально адаптированного под аппаратные особенности семейства процессоров Pentium II/III/Pro.

Криптография – иначе тайнопись, сокрытие информации посредством обратимого криптографического преобразования, которое осуществляется при помощи секретной информации – криптографического ключа и несекретного набора инструкций преобразования – криптоалгоритма.

Проблема безопасности важной (ценной) информации издревле волновала человечество. Спустя десятки веков до нас дошли многие способы сокрытия информации, один из самых известных – шифр Цезаря, которым пользовался римский император. Еще примерно 50 лет назад криптографией занималось исключительно государство. Но на сегодняшний день проблемы сохранности информации уже не являются исключительно задачами государства. Мы сталкиваемся с защитой наших интересов в области обеспечения безопасности информации постоянно: когда держим в руках банковскую пластиковую карту, пополняем счет на мобильном телефоне, пользуемся компьютерными сетями, общаемся в Интернете, применяем средства электронно-цифровой подписи (ЭЦП), так можно перечислять до бесконечности.

Таким образом, вся криптография делится на закрытую (вся документация по этим методам секретна и используется, как и охраняется, государством); открытую (коммерческую) (вся документация по этим методам публикуется в открытой печати и может быть использована в личных и/или коммерческих целях).

В рамках этой статьи мы будем говорить об открытой криптографии и проблемах, связанных с ней. Такие проблемы условно можно разделить на *экономические*, связанные с необходимостью использования тех или иных криптосистем на предприятии или для физических лиц, и

организационные, охватывающие круг организационных вопросов, таких как законодательство, лицензирование, сертификация, режимы использования криптосистем, теоретические и технические задачи, т. е. задачи, связанные с разработкой и реализацией криптосистем. В этой статье описаны только теоретические и технические задачи.

Весь комплекс задач, связанных с криптосистемами, можно разделить на две группы:

задачи, связанные с разработкой криптоалгоритмов;

задачи, связанные с реализацией криптоалгоритмов.

Решением первой задачи занимаются математики, результатом работы является математическая модель криптоалгоритма.

Решением второй задачи занимаются программисты, основной проблемой в этой области является жесткая обратная зависимость уровня безопасности проектируемой криптосистемы от загруженности вычислительных ресурсов и времени обработки.

Любая информация имеет свою ценность. Ценность информации определяют относительно. Приведем самое простое определение: информация ценна настолько, насколько будут велики экономические потери при ее утечке (разглашении). Также ценность информации зависит от времени. Как правило, если речь идет о коммерческой информации, то ее ценность убывает за несколько дней или недель. Криптостойкость алгоритма характеризуется временем взлома. Таким образом, для информации разного назначения (разной ценности) целесообразно использовать различные значения криптостойкостей, что позволит более эффективно использовать вычислительные и временные ресурсы [1]. Согласно общим требованиям, «криптостойкость алгоритма должна зависеть целиком и полностью от длины ключа» [2]. Следовательно, одним из критериев проектируемой криптосистемы является возможность менять размер ключа, что влияет на затраты вычислительных ресурсов и время обработки.

Готовые реализации криптосистем имеют заранее определенную длину ключа (или узкий диапазон). А длина ключа задается на стадии проектирования реализации криптосистемы и не может быть изменена на стадии использования реализации криптосистемы. Поэтому первой нашей задачей является обеспечение гибкости изменения длины ключа.

Готовая реализация криптосистемы не позволяет менять длину ключа и другие параметры. Если это аппаратная система шифрования (микросхема), то, при всем желании, количество регистров и «зашитую» логику невозможно изменить. Если это программная система шифрования, то очень сложно менять откомпилированный код программы (адреса, размеры операндов, сложность операций и пр.). Это задача была решена разделением создания реализации криптосистемы на два этапа:

1) стадия проектирования (фактическое программирование);

2) стадия использования (выполнение).

Программирование реализаций криптосистем ведется на языках высокого уровня, таких как C++, и обязательно низкого уровня – ассемблер. Использование языков низкого уровня (ассемблеров) связано с тем, что каждый криптоалгоритм содержит критичные по времени участки (самые сложные участки алгоритма с точки зрения использования набора инструкций процессора), т. е. программист сам должен описывать обработку инструкций в машинных командах, чтобы довести быстродействие до максимума. Таким образом, для того чтобы написать реализацию криптоалгоритма, нужны глубокие познания в области программирования. Если криптографу (математику) необходимо реализовать криптоалгоритм, то нужна помощь программиста. Если криптосистема необходима человеку слабо знакомому с тонкостями криптографии и программирования, то без криптографа и программиста эта задача не разрешима.

Ныне существует набор библиотек, свободно подключаемых к языкам программирования высокого уровня, таких как C++. Этот набор библиотек больше известен как OpenSSL. Но его использование затруднено тем, что необходимо знание программирования (хоть и менее глубокое); библиотеки являются импортными, а после выхода в США закона «Об ограничение экспорта технологий» [1], их криптостойкости заранее ограниченны, что приводит к снижению необходимого уровня безопасности; коды библиотек компилируются без проработки критичных участков криптоалгоритмов на языках низкого уровня, и соответственно, слабо оптимизированы под аппаратные возможности различных типов процессоров.

Закон «Об ограничение экспорта технологий» также влияет и на существующие криптографические средства, например, стандарт безопасности SSL 2.0 в России обладает низкой длиной ключа, а ведь именно по нему ведутся сделки и проверка банковских счетов с указанием PIN через Интернет.

Следовательно, второй задачей к проектируемой нами реализации криптосистемы является ориентирование проекта на различный круг пользователей: от рядовых до специалистов.

Проектируемая нами реализация криптосистемы является языком программирования, который ориентирован на три основные группы людей:

– рядовые пользователи информационных систем (пользователи);

– криптографы, криптоаналитики и математики (алгебраисты) без особых познаний в области программирования языков высокого и низкого уровня;

– программисты.

Особо стоит выделить инженеров по информационной безопасности, так как они знают элементы программирования, элементы криптографии, но основная их задача – обеспечить информационную безопасность, т. е. оценить стоимость информационных ресурсов и подобрать средства криптографической защиты информации с должным уровнем безопасности (криптостойкости). Проектирование реализации криптосистемы начинается в рамках нашего проекта с задания параметров криптостойкости и позволяет создать реализацию криптосистемы, не углубляясь в тонкости криптографии и программирования.

Расширение круга возможных пользователей от дилетантов до специалистов в области криптографии и программирования стало возможным при использовании разработанного нами криптоязыка. Сам криптоязык, его синтаксис, методы и правила частично будет описан ниже.

Полное описание криптоязыка занимает слишком большой объем информации и не может быть приведено в рамках этой статьи.

Реализации криптосистем могут разрабатываться как композиции ранее реализованных алгоритмов. Так, например, один из самых известных стандартов шифрования DES вскрывается примерно за двое суток «лобовым» (прямым перебором возможных ключей) вскрытием при имеющихся на сегодняшний день вычислительных ресурсах. Сегодня сам DES уже не используется в своем классическом виде, а используются его модификации. Модифицирование алгоритма DES пошло по двум путям: наращивание длины ключа и многоразовое шифрование DES с разными ключами. Таким образом, если рассматривать второй путь, то криптостойкость может быть повышена просто многократным шифрованием одним и тем же алгоритмом. Но это верно не для всех алгоритмов, здесь есть маленькая алгебраическая «ловушка». Может получиться так, что многоразовое шифрование с разными ключами может дать эффект одноразового шифрования с каким-то третьим ключом, и при «лобовом» вскрытии этот ключ подойдет. Другими словами, важно, чтобы алгоритмы не образовывали группу относительно операции композиции. DES не обладает таким свойством, а, например, алгоритм, использующий только операцию XOr, обладает таким свойством. Покажем это подробнее.

Обозначим E_k – алгоритм зашифрования на ключе k, тогда для алгоритма DES $E_{k_1} \neq E_{k_2} \circ E_{k_3}$ [1], но для алгоритма на основе XOr имеем выражение $E_{k_1} = E_{k_2} \circ E_{k_3}$, более того $E_k = {}_{\circ}E_{k_i}$, таким образом, многоразовое шифрование для этого алгоритма бесполезно. Важно отметить, что такие факты могут быть рассмотрены только человеком, хорошо знакомым с криптографией. Зная алгоритм и умея программировать, можно совершить ряд ошибок, которые приведут к уровню криптостойкости много меньшему, чем предполагалось при проектировании криптосистемы. В рамках этого проекта на проблеме композиций сделан особый акцент. Во-первых, потому что неэффективные композиции алгоритмов могут снизить криптостойкость. Во-вторых, композиция различных криптоалгоритмов ведет к повышению криптостойкости и, в зависимости от алгоритмов и длин ключей, может дать повышение производительности.

Пусть $E_{k_1}^{(1)}$ и $E_{k_2}^{(2)}$ – различные алгоритмы шифрования, т. е. исключено математическое влияние одного алгоритма на другой (не имеют одновременно одинаковых операций в одинаковой последовательности над одинаковыми множествами), тогда P_1 и P_2 – вероятности их «взлома» (фактические криптостойкости) с учетом как «лобового» вскрытия, так и аналитического вскрытия, т. е. анализа алгоритма.

Покажем, что они не образуют группу, относительно операции композиции. Пусть A_1 и A_2 – множества алгоритмов с одинаковым (в рамках рассматриваемого множества) набором операций, соответственно образованных алгоритмами $E_{k_1}^{(1)}$ и $E_{k_2}^{(2)}$ при разных возможных ключах k_1 и k_2, а так как алгоритмы различны, то $E_{k_2}^{(2)} \notin A_1$ и $E_{k_1}^{(1)} \notin A_2$, $A_1 \cap A_2 = \varnothing$, тогда так как алгоритмы математически не зависимы, то их композиция есть композиция их операций, отличных от первого набора операций ($E_{k_1}^{(1)} \circ E_{k_2}^{(2)} \notin A_1$) и от второго набора операций ($E_{k_1}^{(1)} \circ E_{k_2}^{(2)} \notin A_2$), следовательно их композиция есть новый набор операций (множество композиций A_3), т. е. новый алгоритм с вероятностью взлома $P_1 \cdot P_2$. Но наиболее интересен другой факт: так как алгоритмы алгебраически независимы (используют различную логику), реализация их композиции может дать выигрыш во времени обработки информации.

Обозначим через $t_1 t_2 t_{12} t_3$ время обработки информации для реализаций алгоритмов $E_{k_1}^{(1)}$, $E_{k_2}^{(2)}$, $E_{k_{12}}^{(12)}$ и $E_{k_3}^{(1)}$ соответственно. Примем условие, что $P_{12} = P_1 \cdot P_2 \approx P_3$, другими словами, композиция алгоритмов дает примерно такую же вероятность взлома, что и первый алгоритм при ключе k_3, причем $k_1 < k_3$ и, следовательно, $t_1 < t_3$. Так как логика алгоритмов $E_{k_1}^{(1)}$ и $E_{k_2}^{(2)}$ различна, как различны и их реализации, может получиться вариант, при котором $t_{12} < t_3$. Фактически это означает, что мы получаем аналогичную криптостойкость, но на ключах меньшего размера и с выигрышем по времени обработки информации. Важно отметить еще одну особенность композиций криптоалгоритмов: вследствие того, что алгоритмы имеют разную природу и разную криптостойкость, верно выражение $P_{12} = P_1 \cdot P_2 = P_{21}$, но также верно, что $t_{12} \neq t_{21}$. Откуда получаем еще возможный вариант повышения производительности: каждый алгоритм имеет коэффициент увеличения объемов данных, фактически его можно определить как отношение единицы объема данного на входе алгоритма к единице объема данных на выходе алгоритма. Для различных алгоритмов он не одинаков, а в композициях он будет определять объем промежуточных (в рамках композиции) данных, и следовательно, скорость обработки.

Рассмотренная возможность является полем исследования, т. е. для анализа и поиска таких комбинаций использовать чисто математические методы нельзя, так как очень важна реализация алгоритмов. В данный проект заранее была заложена возможность создания композиций алгоритмов. Время работы готового алгоритма может быть оценено либо теоретически по откомпилированному коду, либо эмпирически при работе конкретной спроектированной криптосистемы.

Использование композиций алгоритмов применяется очень часто при обмене ключей, так, например, к симметричным алгоритмам, где оба ключа секретные, для их рассылки добавляется ассиметричный, у которого один ключ секретный, а второй общий.

Третьей задачей проекта является в рамках проектирования реализации криптосистемы обеспечить возможность свободного структурирования алгоритмов шифрования (их композицию) и других обработчиков информации (например, частотного рассеивания).

Различные процессоры имеют в своем составе различный набор аппаратных инструкций, так, например, процессоры Pentium III, в отличии от Pentium II, содержит специфический набор инструкций, которые могут быть использованы для оптимизации обработки данных. Проблема их использования заключается в том, что современные компиляторы ориентированы под различные программы, т. е. криптосистема для компилятора всего лишь программа, которую надо превратить в исполняе-

мые инструкции процессора. В каждом алгоритме есть критичные по времени и ресурсам участки. Чтобы стандартный компилятор обработал их корректно (оптимизировал), необходимо явно указывать (программировать) эти участки. Это возможно сделать только напрямую программируя инструкции процессора.

Четвертая задача проекта – обеспечить гибкость компиляции к различным аппаратным уникальностям различных процессоров, дать возможность явно указывать критичные участки криптоалгоритмов.

Проектируемая нами криптосистема дает возможность строить и анализировать криптоалгоритмы, их эффективность, способы реализаций, т. е. прозрачного взаимодействия с аппаратными возможностями компьютера. Еще одной задачей проекта является его использование в качестве лабораторного практикума и/или средства обучения криптографии.

Перед тем как начать подробное рассмотрение проекта, выделим выдвинутые нами требования к проекту:

– обеспечить гибкое изменение длины ключа;

– ориентировать проект на различный круг пользователей: от рядовых до специалистов;

– в рамках проектирования реализации криптосистемы обеспечить возможность свободного структурирования алгоритмов шифрования (их композицию) и других обработчиков информации (например, частотного рассеивания);

– обеспечить гибкость компиляции к различным аппаратным уникальностям различных процессоров, дать возможность явно указывать критичные участки криптоалгоритмов;

– адаптировать проект в качестве учебного пособия для специальностей, связанных с криптографией, в частности, для кафедры безопасности информационных технологий нашего университета.

Создание криптосистемы на базе этого проекта начинается с построения структуры криптосистемы и указания на этой структуре размеров ключей и данных. Рассмотрим более подробно это на двух примерах.

Приведем криптосистему из двух алгоритмов с заданными длинами ключей, в качестве источника данных – файл, в качестве получателя данных – сеть (сетевой порт) (рис. 1).

Совместно с проектом поставляется набор стандартных, наиболее часто используемых алгоритмов.

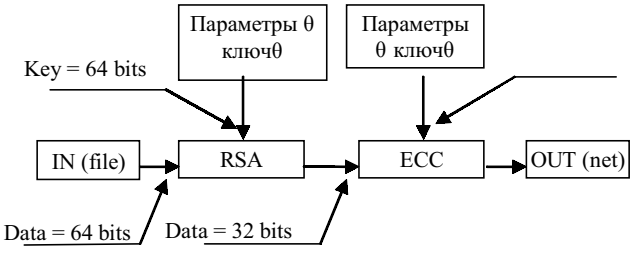


Рис. 1

Уже на этом этапе криптосистема может быть откомпилирована. В результате компиляции получатся два исполняемых файла (один для зашифровки, второй для расшифровки) с библиотеками, которые при запуске потребуют файл в качестве источника, выход в сеть (сетевой адрес) в качестве получателя и набор ключей, необходимый для работы.

Во время проектирования может быть оценена криптостойкость проектируемой системы, для этого предусмотрена консоль аудита, также криптосистема может быть откомпилирована в режиме расчета процессорного времени и расхода ресурсов, что позволяет вести эмпирические расчеты по производительности и занимаемому времени.

Здесь же задается сценарий работы, который представляет собой алгоритм движения данных. В схеме (рис. 1) сценарий статический, т. е. вызов данных начинается из сети вплоть до источника. Динамические сценарии позволяют менять ключи, организовывать сложные схемы обмена данными. Например, использование ассиметричного алгоритма в качестве средства обмена секретными ключами симметричного алгоритма приведет к тому, что начнется сначала генерация и обмен ассиметричными ключами, далее генерация, шифрование и передача симметричных ключей, уже как данных для ассиметричного алгоритма, и только после этого начнется передача основной информации. Это нельзя показать на схеме, поэтому используются сценарии. Также сценарии позволяют вести смену ключей и параметров алгоритма в процессе работы, использовать различные варианты схем в зависимости, например, от времени и прочих характеристик.

На этом этапе могут работать пользователи, не имея специальных знаний в области криптографии и программирования. Для работы достаточно использовать только контекстную справку программы и воображение.

Во время проектирования имеется возможность дублировать любой поток данных в область аудита, т. е. ставить контрольные точки для просмотра данных и процессов в различных участках схемы, это большое преимущество для обучения. Пользователь (студент) может анализировать результаты работы алгоритмов при изменении поведения алгоритма, смены ключей, использование преобразований и пр. В финальной компиляции весь код отладки отсекается, что приводит к коду с максимальной производительностью.

Рассмотрим более подробно этап создания криптосистемы. Процесс компиляции предыдущего этапа является многоуровневым. Он включает:

1) последовательное преобразование каждого модуля, написанного на криптоязыке к языку C++ с необходимыми ассемблерными вставками;

2) преобразование схемы к языку XML (Extended Markup Language – расширенный язык разметки). На его базе удобно формировать структурные схемы. Здесь же программируется сценарий поведения, происходит «сшивание» блоков схемы в одну целостную программу;

3) добавление служебной (отладочной) информации, если проект компилируется в режиме отладки;

4) финальную компиляцию проекта.

Таким образом, есть возможность прописывать каждый блок в отдельности «своими руками» в зависимости от исполняемых функций. Это может быть как криптоалгоритм, так и средство дополнительной обработки информации.

Рассмотрим на примере алгоритма ECC структуру и правила написание модулей.

Приведем структуру (рис. 2) и описание криптоалгоритма ECC (листинг 1). Этот алгоритм имеет три потока данных: входящий поток, исходящий поток и технологический поток. Входящий и исходящий потоки предназначены для приема/передачи основных данных (рис. 1). Технологический канал является каналом ввода/вывода служебных данных, таких как ключи, параметры алгоритма и пр.

Лθстθнг 1. Алгорθтм ECC

```
name ECC
{
 key_length
 in_length
 mode
 scale<gep> = key_length
 scale<data> = in_length
 in
 out
 tec
}
```

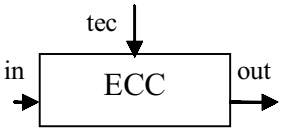


Рис. 2

Заголовок любого модуля представляет собой точку сопряжения с общей схемой, т. е. является интерфейсом между XML и криптоязыком внутри модуля. Рассмотрим его подробнее. Изначально из общей схемы передаются параметры длин данных key_length и in_length, они и определяют диапазоны значений всех переменных, используемых в криптоалгоритме. Таким образом, здесь декларируется независимость криптоалгоритма от длины его ключа. Это достигается тем, что каждый криптоалгоритм рано или поздно закончится конечным рядом математических преобразований. Наборы этих преобразований сгруппированы в библиотеки. В листинге 1 используются библиотеки data и gep. Инструкция scale (масштаб) фактически настраивает библиотеки на длины ключей и данных. Ниже приведен список имен используемых потоков данных. Поле mode фактически определяет режим работы алгоритма: зашифрование или расшифрование. Это поле настраивается автоматически в зависимости от режима работы модуля в конкретный момент времени в общей структуре алгоритма, т. е. определяется сценарием поведения.

Таким образом, каждый заголовок блока должен содержать имена потоков данных, метки длин параметров (масштабы данных), метки сценария поведения (режимы работы).

После заголовка следует написание собственно алгоритма (блока), причем блок может иметь любое предназначение, т. е. выполнять различные функции, такие как генерация, фильтрация, кодирование данных и пр. Написание алгоритма представляют собой набор областей данных и команд. Области данных являются статическими, т. е. имеют *глобальную для модуля* область видимости. Все области данных имеют одно имя data. И фактически разделяются только для наглядности, например, область ключей и область иных данных. Но все они для компилятора являются одной областью данных. В листинге 2 две области данных: секретная и несекретная. Все иные области (не data) автоматически являются областями кода, их имена не явно попадают в заголовок и допускают обращение из сценария поведения.

Внутри области кода допускается использовать криптоязык, т. е. объявлять переменные, использовать различные синтаксические конструкции, обращаться к потокам данных, объявленных в заголовке и областях данных.

Подробнее остановимся на библиотеках. Они фактически созданы для упрощения работы с языком и расширения возможного круга пользователей. В них описываются объекты множества и разрешенные операции над ними. Самым низким уровнем этой модели являются Базовые библиотеки типов. Эти библиотеки содержат первую надстройку над аппаратной частью процессора, т. е. в них описываются базовые структуры, такие как операции над большими числами, битовые операции и пр. Под каждый набор инструкций процессора пишется конкретная библиотека. Это и обеспечивает аппаратную гибкость проекта. В любой процедуре, объявленной в библиотеке, может быть код ассемблера. Базовые библиотеки могут писаться сразу на языке C++. В листинге 3 приведен состав библиотеки gep, на которую ссылаются ранее показанные переменные. В библиотеке описываются только представитель множества данных алгебраической структуры и операции над множеством. Операции допускают побитовую работу с данными. Информация в листинге 3 дана сжато.

Лθстθнг 2. Данные ECC

```
name ECC {…}
data
{
 gep.point public_key
 table abc
}
data
{
 num.integer private_key
}
```

Лθстθнг 3. Бθαлθотека gep

```
namelib gep
{
 length
 scale<num> = length
 num.integer a
 num.integer b
 num.integer p
 predeclare point G
}
declare point
{
 numeric.integer x
 numeric.integer y
}
declare point(A) == point(B)
declare point(A) + point(B)
{       …
        L = B / A (mod p)
        …
}
```

Библиотека описывается своим ключевым словом и содержит также как и алгоритм, заголовок, в котором приведены связи с библиотеками и внутренние данные. Всякий объект описывается в отдельном блоке и его имя описывается ключевым словом declare. Для описания операции необходимо использовать это же ключевое слово с именами типов, после которых в скобках указываются фактические параметры. Если не достаточно имен операторов (+, –, * и пр.), возможно использование инфиксных и префиксных функций с именем, не совпадающим с ключевыми словами. Например, declare point(A) f point(B) f point(C) – трехарная функция-оператор в инфиксной форме с тремя фактическими параметрами A, B, C, все типа point. Ее префиксная форма выглядит иначе: declare f point(A) point(B) point(C).

Подведем итоги описания технической стороны проекта.

Использование Базовых библиотек типов обеспечивает аппаратную гибкость используемых операций, подборку конкретных аппаратных инструкций для оптимизации критичных участков работы алгоритма.

Применение «сквозного» масштабирования данных (от схемы до Базовых библиотек типов) с подобранными аппаратными инструкциями под конкретную аппаратную платформу позволяет гибко менять длину ключа и, как следствие, необходимые вычислительные ресурсы.

Проект ориентирован на широкий круг пользователей различной квалификации. Проект может создаваться на этапе схемы, при этом не требуется высокая квалификация пользователя. Применение криптоязыка позволяет реализовывать алгоритмы различной природы и с использованием «сквозного» масштабирования данных позволяет абстрагироваться от аппаратных особенностей реализация, перекладывая всю «нагрузку» на Базовые библиотеки типов. При этом приближение криптоязыка к языку алгебраических операций дает возможность использовать его криптографам, криптоаналитикам, математикам и студентам, изучающим криптографию. Так как реализация криптоалгоритма в рамках показанной модели упирается в Базовые библиотеки типов, проект содержит наиболее часто используемые из них, ориентированные на распространенные в России аппаратные платформы семейства Pentium II/III/Pro и их аналоги фирмы AMD.

Проект позволяет гибко формировать композиционные алгоритмы и исследовать их. Проект позволяет проводить детальный анализ процессов в алгоритмах, что может быть использовано в обучающих целях. Блочное построение проекта в целом позволяет вносить изменения в локальных областях, не внося существенных изменений в проект.

Экономическая эффективность использования криптоалгоритмов может быть оценена из стоимости защищаемой информации и стоимости издержек, которые включают в себя издержки на аренду каналов связи и вычислительных мощностей. Так как в рамках этого проекта возможно варьирование длины ключа и, как следствие, объемов данных и вычислительного времени, появляется возможность снизить расходы на аренду каналов связи и дорогостоящее высокоскоростное оборудование.

Немаловажно отметить юридические проблемы. Они связаны с тем, что каждая криптосистема должна пройти лицензирование и сертификацию в государственных службах. Так как проект фактически является средством создания криптосистем, его невозможно сертифицировать. Но выход есть: все алгоритмы (блоки) можно поделить на стандартные и пользовательские. Стандартные алгоритмы, прошедшие сертификацию, объединяются в «Доверительный список», тогда любой композиционный алгоритм (с учетом алгебраических особенностей), построенный на «Доверительном списке», будет безопасен. Остается только согласовать механизм сертификации с государственными службами, например, через внутренние сертификаты, генерируемые проектом. Конечно, любой пользовательский алгоритм (конкретный блок) не входит в «Доверительный список» (если конечно он не прошел индивидуальную сертификацию), и алгоритмы на его основе не могут быть сертифицированы.

На сегодняшний день уже разработаны все основные уровни проекта, кроме интегрированной среды разработки, отладки и консоли аудита. В разработке представлены «дружественный интерфейс», отладка, аналитическая часть консоли аудита, отладка криптоязыка. Создается реализация ЭЦП. Проект выполнен примерно на 40 %.

Библиографический список

1. Девянин, П. Н. Теоретические основы компьютерной безопасности : пособие для вузов / П. Н. Девянин [и др.]. М. : Радио и связь, 2000. 192 с.

2. Шнайер, Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си / Б. Шнайер. М. : Изд-во ТРИУМФ, 2003. 816 с.

A. M. Kukartsev, S. A. Starovoitov, V. S. Shestakov

COMPOSITION CRYPTOSYSTEM INTEGRATED DEVELOPMENT ENVIRONMENT

It is presented program project, which solves one of the basic tasks to applied cryptography, it is increasing to velocities data processing in cryptographic system without safety level changes. Possibility to describe the algorithms to cryptographies is realized in the algebra form. The Project is developed on the base designed a crypto language, well-adapted under hardware particularities family processor Pentium II/III/Pro.

УДК 512.5

Л. А. Мартынова

ОПИСАНИЕ ИДЕАЛОВ ЛИЕВА КОЛЬЦА $NE_6(K)$

Рассматривается описание идеалов лиева кольца. Дается описание присоединенных подгрупп на примере доказательства теоремы о соответствии.

Цель статьи – доказать теорему, дающую описание идеалов лиева кольца $NE_6(K)$, где K – поле характеристики, $K \neq 2$. Воспользуемся представлением систем корней типа E_6, установленное Н. Бурбаки [1]. В частности, α_1, α_2 – простые корни, а для корня $r = \sum_{i=1}^{6} m_i \alpha_i \in E_6$ используется обозначение

$$\begin{pmatrix} m_1 & m_3 & m_4 & m_5 & m_6 \\ & & m_2 & & \end{pmatrix}.$$

Согласно [2], введем обозначения: Φ^+ – система положительных корней и база в системе корней Φ далее зафиксирована. Если $r \in \Phi$, то совокупность $s \in \Phi^+$, для которых $s - r$ линейная комбинация простых корней с неотрицательными коэффициентами, обозначим через $\{r\}^+$. Корень s называется углом подмножества $H \subset N\Phi(K)$, если совокупность H_s всех s-координат элементов из H отлична от нуля и $H_r = 0$ при $s\,\alpha\, r \in \Phi^+$, $s \in \{r\}^+$. Положим также

$$T_r = \left\langle Ke_s \,\middle\|\, s \in \{r\}^+ \right\rangle,\ Q(r) = \left\langle Ke_s \,\middle\|\, s \in \{r\}^+, s \neq r \right\rangle,\ r \in \Phi.$$

Основным результатом является следующая теорема.

Теорема 1. Пусть K – поле характеристики, $K \neq 2$. Аддитивная подгруппа $H \neq 0$ лиева кольца $NE_6(K)$ является его идеалом тогда и только тогда, когда для любого ее угла r и простого корня p, $r + p \in \Phi^+$, $T(r + p) \not\subset H$ всегда существует угол s и ненулевой элемент $\alpha \in K$, для которых s-ая координата любого элемента из H совпадает с произведением r-ой координаты на α и хотя бы для одного $i = 0, 1, 2$ выполняется условие $a_1, \ldots, a_i$:

существуют простые корни $p_0 = p, p_1, \ldots, p_i$ такие, что

$$m_j = p_0 + p_1 + \ldots p_j,\ r + m_j, s + m_j \in E_6^+,$$

$$H \supset (\ldots((H * Ke(p)) * Ke(p_1)) * \ldots) * Ke(p_j),\ j = \overline{0,i};$$

$$H \supset Q(r + m_i) + Q(s + m_i).$$

Обозначим в соответствии с [3] через $h(r)$ высоту корня r. Пусть H – идеал лиева кольца $NE_6(K)$, K – поле. Если r угол множества H и высота $h(r) > 6$ или r один из корней

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & & 1 & & \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & & 0 & & \end{pmatrix},$$

то $Q(r) \subset H$.

Условие для аддитивной подгруппы $H \subset NE_6(K)$ является идеалом, очевидно, равносильно ее замкнутости относительно лиева умножения на корневые подгруппы $Ke(p)$, где p пробегает простые корни. Поэтому описание заключается в выявлении условий, когда $H \cdot Ke(p)$ лежит в H.

Если $\alpha \in NE_6(K)$, то через $N(\alpha)$ обозначим наименьшую сумму $T(r_1) + T(r_2) + \ldots + T(r_k)$, содержащую α:

$$Q(\alpha) = \sum_{i=1}^{k} Q(r_i).$$

Пусть H – идеал лиева кольца $NE_6(K)$, $\alpha = t_1 2\ e(r_1) + \ldots + t_N 2\ e(r_N) \in H$. Рассмотрим лиево произведение вида

$$\alpha \cdot Ke(\alpha_1) = K\left(\sum_{r+\alpha_1 \in E_6} t_r e(r + \alpha_1) \right),\ t_r = c t_r 2,\ c = \pm 1. \quad (1)$$

Перенумеруем слагаемые в сумме в соответствии с высотой $h(r + \alpha_1)$, получим

$$\alpha \cdot Ke(\alpha_1) = K$$

$$\left(t_1 e\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & & 0 & & \end{pmatrix} + t_2 e\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ & & 0 & & \end{pmatrix} + \right.$$

$$+ t_3 e\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ & & 0 & & \end{pmatrix} + t_4 e\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ & & 1 & & \end{pmatrix} +$$

$$+ t_5 e\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & & 0 & & \end{pmatrix} +$$

$$\left. + t_6 e\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ & & 1 & & \end{pmatrix} + t_r e\begin{pmatrix} 1 & 1 & 2 & 1 & 0 \\ & & 1 & & \end{pmatrix} \right) \bmod I,$$

где I – идеал, порожденный корневыми подгруппами $Ke(r)$, $h(r) > 6$ или

$$r = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & & 1 & & \end{pmatrix}.$$

При $t_1 \neq 0$ или $t_1 = 0$, $t_2 \neq 0$ получаем соответственно выражение вида

$$T\begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ & & 0 & & \end{pmatrix} \subset H$$

или

$$T\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ & & 0 & & \end{pmatrix} \subset H.$$

Допустим, что $t_1 = t_2 = 0$, $t_3 \neq 0$. В этом случае рассмотрим произведения

$$(\alpha \cdot Ke(\alpha_1))\, Ke(\alpha_2) \text{ и } (\alpha \cdot Ke(\alpha_1))\, Ke(\alpha_6).$$

Если

$$T\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ & & 0 & & \end{pmatrix} \not\subset H,$$

то для произвольного элемента из H коэффициенты при

$$e\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ & & 0 & & \end{pmatrix},\ e\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ & & 1 & & \end{pmatrix}$$

обращаются в нуль лишь одновременно и равна

$$Q\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ & & 0 & & \end{pmatrix} + Q\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ & & 1 & & \end{pmatrix} \subset H.$$

Если $t_i = 0$, $i < 4$, $t_4 \neq 0$, то рассмотрим произведение $(\alpha \cdot Ke(\alpha_1))\, Ke(\alpha_5)$ по модулю I. Если

$$T\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ & & 1 & & \end{pmatrix} \not\subset H,$$

то для всякого элемента из H коэффициенты при

$$e\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ & & 1 & & \end{pmatrix},\ e\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & & 0 & & \end{pmatrix}$$

обращаются в нуль лишь одновременно, причем $Q(\alpha \cdot Ke(\alpha_1)) \subset H$.

Случай $t_i = 0, i < 5, t_5 \neq 0$ аналогичен предыдущему.

Аналогично (1) рассмотрим следующее лиево произведение:

$$\alpha \cdot Ke(\alpha_2) = K\left(\sum_{r+\alpha_2 \in E_6^+} t_r e(r+\alpha_2) \right).$$

В случае $t_1 \neq 0$ и $t_1 = 0, t_2 \neq 0$ рассмотрим произведения вида

$$((\alpha \cdot Ke(\alpha_2))\, Ke(\alpha_3))\, Ke(\alpha_6),$$

$$(\alpha \cdot Ke(\alpha_2))\, Ke(\alpha_3) \text{ и } (\alpha \cdot Ke(\alpha_2))\, Ke(\alpha_6).$$

Если

$$T\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ & & 1 & & \end{pmatrix} \not\subset H,$$

то для любого элемента из H коэффициенты при

$$e\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ & & 0 & & \end{pmatrix},\ e\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ & & 0 & & \end{pmatrix}$$

или

$$e\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ & & 0 & & \end{pmatrix},\ e\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 0 & 0 \\ & & 0 & & \end{pmatrix}$$

обращаются в нуль лишь одновременно и $Q(\alpha \cdot Ke(\alpha_2)) \subset H$.

Когда $t_1 = t_2 = 0, t_3 \neq 0$, требуемые включения получаем, рассматривая произведения

$$((\alpha \cdot Ke(\alpha_2))\, Ke(\alpha_1))\, Ke(\alpha_5),$$

$$(\alpha \cdot Ke(\alpha_2))\, Ke(\alpha_1) \text{ и } (\alpha \cdot Ke(\alpha_2))\, Ke(\alpha_5).$$

Если $t_i = 0, i < 4, t_4 \neq 0$, то

$$Q\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ & & 1 & & \end{pmatrix} \subset H,$$

а из $\alpha \cdot Ke(\alpha_2) \subset H$ получаем $Q(\alpha \cdot Ke(\alpha_2)) \subset H$.

В случае $t_i = 0, i < j, t_j \neq 0, j = 5, 6$ если $T(\alpha \cdot Ke(\alpha_2)) \not\subset H$, то $Q(\alpha \cdot Ke(\alpha_2)) \subset H$.

В соответствии со схемой доказательства рассмотрим $H \cdot Ke(\alpha_3)$ и, перенумеровав слагаемые в соответствии с высотой $h(r + \alpha_3)$, возьмем произведение

$$\alpha \cdot Ke(\alpha_3).$$

При $t_1 = 0, t_2 \neq 0$ и $t_1 = t_2 = 0, t_3 \neq 0$ рассмотрим произведения

$$((\alpha \cdot Ke(\alpha_3))\, Ke(\alpha_2))\, Ke(\alpha_6),$$

$$(\alpha \cdot Ke(\alpha_3))\, Ke(\alpha_2) \text{ и } (\alpha \cdot Ke(\alpha_3))\, Ke(\alpha_6).$$

Получаем

$$T\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ & & 1 & & \end{pmatrix},\ T\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ & & 0 & & \end{pmatrix} \subset H.$$

Если

$$T\begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ & & 0 & & \end{pmatrix} \not\subset H,$$

то либо $Q(\alpha \cdot Ke(\alpha_3)) \subset H$, либо $Q((\alpha \cdot Ke(\alpha_3))\, Ke(\alpha_1)) \subset H$.

Случаи $t_i = 0, i < j, t_j \neq 0, j = 4, 5, 6, 7$ аналогичны предыдущему.

Если $t_1 \neq 0$, $t_2 = 0$, то рассуждениями, аналогичными произведенным выше, получим, что если $T(\alpha \cdot Ke(\alpha_3)) \not\subset H$, то возможны варианты:

1) $Q(\alpha \cdot Ke(\alpha_3)) \subset H$ и для любого элемента из H коэффициенты при $e(\alpha_1)$; $e(r)$, где r, по крайней мере, один из корней

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ & & 0 & & \end{pmatrix},\ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ & & 1 & & \end{pmatrix},\ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ & & 1 & & \end{pmatrix},$$

$$\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ & & 0 & & \end{pmatrix},\ \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ & & 1 & & \end{pmatrix},$$

обращаются в нуль лишь одновременно;

2) $Q((\alpha \cdot Ke(\alpha_3))\, Ke(\alpha_4)) \subset H$ и для любого элемента из H коэффициенты при $e(\alpha_1)$; $e(r)$, где

$$r\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ & & 1 & & \end{pmatrix} \text{ или } \begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ & & 1 & & \end{pmatrix}$$

обращаются в нуль лишь одновременно;

3) $Q(((\alpha \cdot Ke(\alpha_3))\, Ke(\alpha_4))\, Ke(\alpha_5)) \subset H$ и для любого элемента из H коэффициенты при

$$e(\alpha_1),\ e\begin{pmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ & & 1 & & \end{pmatrix}$$

обращаются в нуль лишь одновременно.

Рассмотрим лиево произведение $\alpha \cdot Ke(\alpha_4)$. Перенумеровав слагаемые по высоте $h(r + \alpha_4)$ при $t_1 \neq 0$, $t_2 \neq 0$, $t_3 \neq 0$, если $T(\alpha \cdot Ke(\alpha_4)) \not\subset H$ возможны случаи:

1) для произвольного элемента из H, по крайней мере, одна из пар коэффициентов при $\{e(\alpha_3), e(\alpha_2)\}$, $\{e(\alpha_3), e(\alpha_5)\}$, $\{e(\alpha_2), e(\alpha_5)\}$ обращаются в нуль лишь одновременно либо

$$Q(\alpha \cdot Ke(\alpha_4)) \subset H,$$

либо

$$Q((\alpha \cdot Ke(\alpha_4))\, Ke(\alpha_5)) \cup Q((\alpha \cdot Ke(\alpha_4))\, Ke(\alpha_2)) \cup$$
$$\cup Q((\alpha \cdot Ke(\alpha_4))\, Ke(\alpha_3)) \subset H;$$

2) $Q(((\alpha \cdot Ke(\alpha_4))\, Ke(\alpha_5))\, Ke(\alpha_6)) \cup Q(((\alpha \cdot Ke(\alpha_4)) \times Ke(\alpha_3))\, Ke(\alpha_1)) \subset H$ и, по крайней мере, одна из пар коэффициентов при $\{e(\alpha_3), e(\alpha_2)\}$, $\{e(\alpha_5), e(\alpha_2)\}$ обращается в нуль лишь одновременно.

Оставшиеся случаи аналогичны предыдущим.

Учитывая симметрию диаграммы Дынкина и существование графового автоморфизма, переводящего α_6 в α_1 и α_5 в α_3, рассмотрение лиевых произведений $H \cdot Ke(\alpha_5)$ и $H \cdot Ke(\alpha_6)$ упрощается и сводится к повторению рассуждений для $H \cdot Ke(\alpha_2)$ и $H \cdot Ke(\alpha_1)$ соответственно.

Достаточность условий **теоремы 1** получается непосредственно проверкой замкнутости аддитивной подгруппы H относительно лиева умножения на множестве $Ke(\alpha_i)$. **Теорема 1** доказана.

Заметим, что нормальные подгруппы в $\langle NE_6(k) \rangle$ есть в точности аддитивные подгруппы, описанные в **теореме 1**. При этом лиево умножение заменяется коммутированием.

Сформулируем теорему о соответствии идеалов и нормальных подгрупп для E_6.

Теорема 2. Пусть K – поле, $2K = K$. Идеалы лиева кольца $NE_6(K)$ и только они являются нормальными подгруппами присоединенной группы $\langle NE_6(k) \rangle$.

Таким образом, получено описание идеалов лиева кольца благодаря теореме о соответствии описание присоединенных подгрупп.

Библиографический список

1. Бурбаки, Н. Группы и алгебры Ли. IV–VI / Н. Бурбаки. М. : Мир, 1972. С. 310–318.

2. Левчук, В. М. Нормальное строение унипотентных подгрупп групп Шевалле и идеалы ассоциированного кольца Ли / В. М. Левчук, Л. А. Мартынова // Конструкции в алгебре и логике. Тверь : ТГУ, 1990. С. 60–66.

3. Carter, R. W. Simple groups of Lie type / R. W. Carter. London : J. Wiley, 1972.

L. A. Martynova

DESCRIPTION OF IDEALS OF LIE RINGS $NE_6(K)$

It is given the description of ideals of Lie rings $NE_6(K)$ and correspondence ideals of Lie rings to adjoint subgroups.

УДК 519.6

Р. Р. Кагиров

МНОГОМЕРНАЯ ЗАДАЧА О РЮКЗАКЕ: НОВЫЕ МЕТОДЫ РЕШЕНИЯ

Предложен способ решения задачи о многомерном рюкзаке с помощью алгоритмов муравьиных колоний – нового перспективного метода оптимизации, базирующегося на моделировании поведения колонии муравьев.

Алгоритмы муравьиных колоний – это новые перспективные методы оптимизации, базирующиеся на моделировании поведения колонии муравьев. Колония муравьев может рассматриваться как многоагентная система, в которой каждый агент (муравей) функционирует по очень простым правилам. В противовес почти примитивному поведению агентов, поведение всей системы получается на удивление разумным [1].

С помощью муравьиных алгоритмов были решены такие задачи комбинаторной оптимизации, как задача коммивояжера, квадратическая задача о назначениях, задача маршрутизации грузовиков, задача календарного планирования, задача раскраски графа [2], а также задача о рюкзаке [3].

Сформулируем многомерную задачу о рюкзаке [4]:

$$f(X) = \sum_{j=1}^{n} c_j x_j \to \max, \ \sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \le b_i, \qquad (1)$$

$$x_j \in \{0,1\}, \ j = 1, 2, ..., n, \ i = 1, 2, ..., m.$$

Предполагается, что $c_j > 0$, $0 \le a_{ij} \le b_i$, $j = 1, 2, ..., n$, $i = 1, 2, ..., m$.

Приведем экономическую интерпретацию многомерной задачи о рюкзаке [4]. Пусть имеется n проектов и для их реализации задан вектор ресурсов $b = (b_1, b_2, ..., b_m)$, $b_i > 0$. Обозначим через $a_{ij} > 0$ количество единиц ресурса типа i, необходимое для реализации проекта с номером j, при этом хотя бы для одного ресурса s выполнено условие $\sum_{j=1}^{n} a_{sj} x > b_s$, т. е. реализация всех проектов невозможна. Пусть $c_j > 0$, $j = 1, 2, ..., n$ – прибыль, полученная при реализации проекта j. Требуется выбрать для реализации набор проектов с максимальной суммарной прибылью:

$$x_j = \begin{cases} 0, \text{ если проект } j \text{ не реализуется}, \\ 1, \text{ если проект } j \text{ реализуется}. \end{cases}$$

Многомерная задача о рюкзаке является NP-трудной задачей, имеющей много практических приложений, таких как размещение процессоров в распределенных системах, размещение грузов, распределение бюджетных средств и т. д. [5]. Как известно из теории вычислительной сложности алгоритмов, время нахождения точного решения NP-трудной задачи является величиной, экспоненциально зависящей от размерности задачи. На практике размерность задачи исчисляется сотнями и тысячами переменных. Приближенные алгоритмы, в том числе и муравьиные, позволяют найти субоптимальные решения за полиномиальное время.

Стратегия поиска оптимального решения с помощью алгоритмов муравьиных колоний хорошо соотносится с решением задачи о многомерном рюкзаке [6].

Муравьиные колонии привлекли к себе внимание научного сообщества тем, что могут находить кратчайшие маршруты от муравейников к источникам пропитания. Можно показать, что задача нахождения туристом оптимального набора предметов и задача поиска кратчайшего пути колонией муравьев практически совпадают.

Для этого выполним некоторые преобразования. Построим сеть по следующим правилам [7]: по оси абсцисс будем последовательно откладывать номера предметов, по оси ординат – их вес. Из каждой точки (начиная с точки (0;0)) выходят две дуги – горизонтальная (соответствующая альтернативе «не брать предмет») и наклонная (со-

ответствующая альтернативе «взять предмет»), вертикальная проекция которой равна весу предмета. Длины наклонных дуг положим равными ценности предметов, длины горизонтальных дуг – нулю. Полученная сеть (конечная вершина является фиктивной и вес любой дуги, соединяющей ее с другими вершинами, равен нулю) обладает следующими свойствами: любому решению задачи (1) соответствует некоторый путь в этой сети; любому пути соответствует некоторое решение задачи. Таким образом, задача свелась к нахождению пути максимальной длины, для чего можно использовать алгоритмы муравьиных колоний.

Основу «социального» поведения муравьев составляет *самоорганизация* – множество динамических механизмов, обеспечивающих достижение системой глобальной цели в результате низкоуровневого взаимодействия ее элементов. Принципиальной особенностью такого взаимодействия является использование элементами системы *только локальной информации.* При этом исключается любое централизованное управление и обращение к глобальному образу, репрезентирующему систему во внешнем мире. Самоорганизация является результатом взаимодействия следующих четырех компонентов:

– случайность;

– многократность;

– положительная обратная связь;

– отрицательная обратная связь.

Муравьи используют два способа передачи информации. Прямой – обмен пищей, мандибулярный, визуальный и химический контакты. И не прямой – стигмержи (stigmergy). *Стигмержи* – это разнесенный во времени тип взаимодействия, когда один субъект взаимодействия изменяет некоторую часть окружающей среды, а остальные используют информацию об ее состоянии позже, когда находятся в ее окрестности. Биологически стигмержи осуществляется через *феромон* (pheromone) – специальный секрет, откладываемый как след при перемещении муравья.

Феромон – достаточно стойкое вещество, он может восприниматься муравьями несколько суток. Чем выше концентрация феромона на тропе, тем больше муравьев будет по ней двигаться. Со временем феромон испаряется, что позволяет муравьям адаптировать свое поведение под изменения внешней среды. Распределение феромона по пространству передвижения муравьев является своего рода динамически изменяемой глобальной памятью муравейника. Любой муравей в фиксированный момент времени может воспринимать и изменять лишь одну локальную ячейку этой глобальной памяти [8].

Муравьиные алгоритмы основаны на имитации природных механизмов самоорганизации муравьев, использование которых иллюстрируется ниже на примере задачи о рюкзаке.

Рассмотрим, как реализовать четыре составляющие самоорганизации муравьев при решении задачи о многомерном рюкзаке. Многократность взаимодействия реализуется итерационным поиском оптимального набора предметов в рюкзаке одновременно несколькими муравьями. При этом каждый муравей рассматривается как отдельный, независимый, решающий свою задачу. За одну итерацию алгоритма каждый муравей набирает полный рюкзак.

Положительная обратная связь реализуется как имитация поведения муравьев типа «оставление следов на предметах». Чем больше феромона оставлено на предмете, тем больше муравьев возьмут его в следующий раз. При этом на предмете останутся новые следы, привлекающие на следующей итерации дополнительных муравьев. Для задачи о рюкзаке положительная обратная связь реализуется следующим стохастическим правилом: вероятность положить предмет муравьем в рюкзак пропорциональна количеству феромона на этом предмете.

Применение такого вероятностного правила обеспечивает реализацию и другой составляющей самоорганизации – случайности. Количество откладываемого муравьем феромона на предмете пропорционально его важности. Чем важнее предмет, тем больше феромона будет отложено на нем и тем больше муравьев будут использовать его при синтезе своего набора предметов. Отложенный на предметах феромон выступает как усилитель, он позволяет хорошим наборам предметов сохраняться в глобальной памяти муравейника в виде следа феромона. Эти наборы предметов могут быть улучшены на последующих итерациях алгоритма.

Использование только положительной обратной связи приводит к преждевременной сходимости решений – к случаю, когда все муравьи выбирают одни и те же предметы. Для избежания этого используется отрицательная обратная связь – испарение феромона. Время испарения не должно быть слишком большим, так как при этом возникает опасность сходимости решения задачи о рюкзаке к одному субоптимальному решению.

С другой стороны, время испарения не должно быть и слишком малым, так как это приводит к быстрому «забыванию», потере памяти колонии и, следовательно, к некооперативному поведению муравьев. В поведении муравьев кооперативность является очень важной: множество идентичных муравьев одновременно исследуют разные точки пространства решений и передают свой опыт через изменения ячеек глобальной памяти муравейника.

Для каждого муравья решение взять предмет зависит от трех составляющих: памяти муравья (tabu list), значимости и виртуального следа феромона.

Tabu list (память муравья) – это список взятых муравьем предметов, которые брать еще раз нельзя. Используя этот список, муравей гарантированно не возьмет один и тот же предмет дважды. В этот список должны быть включены те предметы, взяв которые мы нарушим одно из ограничений задачи. Очевидно, что tabu list возрастает по мере того, как муравей набирает предметы, и обнуляется в начале каждой итерации алгоритма. Также очевидно, что этот список должен постоянно обновляться. Когда в tabu list входят все предметы, муравей прекращает набор предметов. Обозначим через J_k список предметов, которые муравью k можно взять на итерации t. Очевидно, что J_k является дополнением к tabu list.

Значимость (η_j) – это локальная статическая информация, выражающая эвристическое желание муравья взять предмет. Данная мера зависит от некоторых характеристик предмета, таких как масса, объем, цена, и явля-

ется величиной постоянной для каждой конкретной задачи в отличие от tabu list и виртуального следа феромона. Для одномерной задачи о рюкзаке можно предложить удельную ценность предмета: отношение коэффициентов целевой функции к коэффициентам ограничения: $\eta_j = \frac{c_j}{a_j}$ [9]. Когда ограничений в задаче становится больше одного, значимость для каждого предмета определить однозначно уже нельзя.

Был предложен следующий вариант расчета значимости:

$$\eta_j = \frac{c_j}{\sum_{i=1}^{m} \frac{a_{ij}}{b_i}}.$$

В этом случае мы суммируем коэффициенты по каждому $i = 1...m$, где m – число ограничений задачи. Нормирование на коэффициенты b_i введено для масштабирования величин к величинам одного порядка.

Использование только значимости является недостаточным для нахождения оптимального решения.

Виртуальный след феромона на предмете *j* представляет подтвержденное муравьиным опытом желание взять предмет *j*. В отличие от значимости след феромона является более глобальной и динамичной информацией – она изменяется после каждой итерации алгоритма, отражая приобретенный муравьями опыт. Количество виртуального феромона на предмете *j* на итерации *t* обозначим через $\tau_j(t)$.

Важную роль в муравьиных алгоритмах играет вероятностно-пропорциональное правило, определяющее вероятность для *k*-го муравья взять предмет *j* на итерации *t*:

$$P_{j,k}(t) = \begin{cases} \dfrac{\left[\tau_j(t)\right]^{\alpha} \cdot \left[\eta_j\right]^{\beta}}{\sum\limits_{j \in J_k} \left[\tau_j(t)\right]^{\alpha} \cdot \left[\eta_j\right]^{\beta}}, & if \ \ j \in J_k, \\ 0, & if \ \ j \notin J_k, \end{cases} \qquad (2)$$

где α и β – два регулируемых параметра, задающих вес следа феромона и значимость при выборе маршрута. Заметим, что если $\alpha = 0$ или $\beta \to \infty$, то мы получаем муравьиный алгоритм, которому в классической теории оптимизации соответствует жадный (greedy) алгоритм.

Обратим внимание, что правило (2) определяет лишь вероятности выбора того или иного предмета. Собственно выбор предмета осуществляется по принципу «колеса рулетки»: каждый предмет на ней имеет свой сектор с площадью, пропорциональной вероятности (2). Для выбора предмета нужно бросить шарик на рулетку – сгенерировать случайное число и определить сектор, на котором этот шарик остановится.

Можно заметить, что вероятности выбора того или иного предмета зависят от трех параметров: значимости предметов, которые являются постоянными величинами в ходе решения задачи, следа феромона, значение которого постоянно обновляется, и tabu list – чем больше предметов в этот список входят, тем больше вероятность у оставшихся предметов быть выбранными.

Следует отметить, что выбор предметов муравьями происходит одновременно, поэтому у каждого муравья есть свой набор предметов. Тем не менее, след феромона на предметах у муравьиной колонии общий, что не совсем наглядно интерпретируется в терминах поведения муравьев, но алгоритмически реализуется без каких-либо затруднений.

После того, как каждый муравей набрал свой рюкзак, происходит изменение следа феромона на предметах. Способ изменения следа феромона зависит от модели муравьиного алгоритма [1].

Ant-density – в этой модели количество феромона, оставляемого муравьем на предмете, является постоянной величиной:

$$\Delta\tau_{j,k}(t) = \begin{cases} q, & if \ \ j \in T_k(t), \\ 0, & if \ \ j \in T_k(t). \end{cases} \qquad (3)$$

Ant-cycle – в этой модели количество феромона, оставляемого муравьем на предмете, зависит от общей ценности $f(T_k(t))$ этого набора предметов:

$$\Delta\tau_{j,k}(t) = \begin{cases} q \cdot f\left(T_k(t)\right), & if \ \ j \in T_k(t), \\ 0, & if \ \ j \in T_k(t), \end{cases} \qquad (4)$$

где $T_k(t)$ – набор предметов у муравья k на итерации t; $f\left(T_k(t)\right)$ – ценность этого набора; q – регулируемый параметр.

Для исследования всего пространства решений необходимо обеспечить испарение феромона – уменьшение во времени количества отложенного на предыдущих итерациях феромона [10]. Обозначим коэффициент испарения феромона через $p \in [0,1]$. Тогда правило обновления феромона примет вид

$$\tau_j(t+1) = (1-p) \cdot \tau_j(t) + \Delta\tau_j(t),$$

где $\Delta\tau_j(t) = \sum_{k=1}^{K} \Delta\tau_j(t)$, K – количество муравьев в колонии.

В начале работы алгоритма оптимизации количество феромона принимается равным небольшому положительному числу τ_0. Общее количество муравьев в колонии остается постоянным на протяжении выполнения алгоритма. Многочисленная колония приводит к быстрому усилению субоптимальных решений, а когда муравьев мало, возникает опасность потери кооперативности поведения через ограниченное взаимодействие и быстрое испарение феромона. Число муравьев можно назначить равным произведению числа предметов и числа ограничений.

Последовательность шагов алгоритма муравьиных колоний выглядит следующим образом.

Подготовительные процедуры:

1) инициализация параметров алгоритма муравьиных колоний: α, β, p и q, m, τ_0, N – число итераций алгоритма;

2) задание следа феромона τ_0 на предметах, расчет значимости предметов η_j^i.

Основной цикл (повторяется N раз). *Начало:*

3) выбор каждым муравьем колонии набора предметов по вероятностно-пропорциональному правилу (2). Муравей набирает предметы, пока его tabu list не будет включать список всех предметов. Как только все муравьи

колонии набрали свои рюкзаки, вычисляем ценность и переходим к шагу 4;

4) обновление следа феромона на предметах по заранее выбранной схеме: ant-density или ant-cycle. Испарение феромона;

5) поиск лучшего решения $f_{\max}$ на итерации, сравнение с наилучшим f^*: если $f_{\max} > f^*$ то $f^* = f_{\max}$ и переход к шагу 3.

Конец: полученное значение f^* является решением задачи.

Для ускорения сходимости оптимизационной процедуры можно ввести так называемых элитных муравьев [10]. Элитный муравей на каждой итерации усиливает наилучшее решение f^*, достигнутое с начала работы алгоритма. Количество феромона $\Delta\tau_j^e$, откладываемого на предметах, дающих наилучшее решение, составляет $\Delta\tau_j^e = e \cdot \Delta\tau_{j,e}$, где e – количество элитных муравьев, $\Delta\tau_{j,e}$ – количество феромона, откладываемого одним элитным муравьем в соответствии с формулами (3) или (4). Дополнительное количество феромона побуждает муравьев исследовать предметы, которые содержатся в наилучших решениях.

По сравнению с точными методами, например динамическим программированием или методом ветвей и границ, муравьиный алгоритм находит близкие к оптимуму решения за значительно меньшее время даже для задач небольшой размерности (п>30). Время оптимизации муравьиным алгоритмом является полиномиальной функцией от размерности O(п3), тогда как для точных методов зависимость экспоненциальная.

Были проведены экспериментальные исследования построенного алгоритма, за основу которых были приняты результаты, полученные С. Фидановой в работе [11]. В данной работе С. Фиданова исследовала свой муравьи-

Экспериментальные результаты исследования работы муравьиных алгоритмов

$n \times m$	heuristicl	heuristic2	heuristic3	Ant-MKP
100 × 5	21640	22224	23984	24285
100 × 5	21175	22542	24143	24086
100 × 5	20477	22177	23515	23410
100 × 5	21443	22390	22874	23389
100 × 5	22169	23246	23263	23772
100 × 5	20675	22427	24523	24400
100 × 5	22068	24286	25177	25448
100 × 5	21432	21771	23204	23243
100 × 5	20501	22832	23762	23930
100 × 5	22006	22893	24208	24186
100 × 5	39510	41700	42705	42705
100 × 5	40700	41804	42445	42442
100 × 5	40329	40922	41435	41662
100 × 5	41390	43856	44911	44867
100 × 5	39253	40979	42025	42128
100 × 5	40268	42130	42671	42815
100 × 5	38138	40307	41776	42774
100 × 5	41406	43304	44559	44892
100 × 5	40029	42015	43122	43104
100 × 5	41968	43135	44364	44529
100 × 5	58178	58660	59798	59822
100 × 5	60031	60913	61821	62081
100 × 5	58109	59117	59694	59734
100 × 5	58592	59633	60479	60417
100 × 5	59144	60050	60954	61000
100 × 5	57218	58127	58695	58919
100 × 5	59464	60193	61406	61461
100 × 5	60180	60360	61520	61421
100 × 5	57836	58659	59121	59311
100 × 5	58186	59060	59864	59929
Среднее	40117,17	41390,4	42400,67	42538,73

ный алгоритм с 3 различными способами расчета значимости предметов: heuristicl, heuristic2 и heuristic3. В качестве тестовых задач были выбраны 30 задач из библиотеки «OR-Library». Размерность представленных задач – 100 переменных, количество ограничений – 5. Параметры алгоритма были выбраны такие же, как и в исследованиях С. Фидановой: количество муравьев в колонии $m = 100$, количество итераций муравьиного алгоритма $N = 200$. Остальные параметры: $\alpha = 2$, $\beta = 1$, $p = 0,3$ и $q = 1$, $\tau_0 = 0,01$. Сравнение муравьиных алгоритмов С. Фидановой и алгоритма Ant-MKP, описанного в настоящей работе, представлено в таблице. Жирным шрифтом в каждой строке выделено лучшее значение целевой функции среди муравьиных алгоритмов. Построенный алгоритм показал хорошие результаты, в большинстве задач он не уступает муравьиному алгоритму С. Фидановой и даже находит решения, с большим значением целевой функции.

Библиографический список

1. Dorigo, M. A Colorni The Ant System: An Autocatalytic Optimizing Process / M. Dorigo, V. Maniezzo // Technical Report No. 91–016 Revised, Politecnico di Milano, Italy, 1991. 103 p.

2. Colorni, A. An Investigation of Some Properties of an Ant Algorithm. Proceedings of the Parallel Problem Solving from Nature Conference (PPSN 92) / A. Colorni, M. Dorigo, V. Maniezzo // Brussels, Belgium, R. Männer and B. Manderick (Eds.), Elsevier Publishing, 1992. P. 509–520.

3. Семенкин, Е. С. Оптимизация технических систем : учеб. пособие / Е. С. Семенкин,О. Э. Семенкина, С. П. Коробейников. Красноярск : СИБУП, 1996. 284 с.

4. Сигал, И. Х. Введение в прикладное дискретное программирование: модели и вычислительные алгоритмы : учеб. пособие / И. Х. Сигал, А. П. Иванова. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2002. 240 с.

5. Corne, D. New Ideas in Optimization / D. Corne, M. Dorigo, F. Glover. McGrav-Hill, 1999. 314 p.

6. Fidanova, S. Evolutionary Algorithm for Multidimensional Knapsack Problem / S. Fidanova. PPSNVII-Workshop 2002. P. 118–124.

7. Бурков, В. Н. Прикладные задачи теории графов / В. Н. Бурков, И. А. Горгидзе, С. Е. Ловецкий. Тбилиси : Мецниереба, 1974. 234 с.

8. Штовба, С. Д. Муравьиные алгоритмы / С. Д. Штовба // Е * ponenta Pro. Математика в приложениях. 2003. № 4 (4). С. 70–75.

9. Кагиров, Р. Р. Применение муравьиных алгоритмов для решения задачи о рюкзаке / Р. Р. Кагиров // Вестник университетского комплекса : сб. научн. тр. ; под общ. ред. проф. Н. В. Василенко. Красноярск : НИИ СУВПТ, 2004. Вып. № 1(15). С. 102–107.

10. Bonavear, E. Swarm Intelligence: from Natural to Artificial Systems / E. Bonavear, M. Dorigo // O ford University Press. 1999. 307 p.

11. Fidanova, S. ACO Algorithm for MKP Using Various Heuristic Information / S. Fidanova // Numerical Methods and Application. 2002. P. 438–444

R. R. Kagirov

MULTIPLE KNAPSACK PROBLEM: NEW SOLVING METHODS

It is suggested an artificial ant colony method for solving multiple knapsack problem. Ant algorithms are a new perspective optimization method based on modeling of artificial ant colony behaviour.

УДК 681.34

Н. А. Алексеев, О. В. Богданова, А. А. Волков

ПЛАНИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ПРИ МУЛЬТИРЕСУРСНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

Рассматривается проблема планирования задач при обработке информации и управлении в распределенных системах реального времени. Предложен алгоритм формирования плана с минимальным числом процессоров. Рассмотрены эвристические алгоритмы планирования, проведено их относительное сравнение.

Современный подход к созданию распределенных программно-информационных технологий для корпоративных и производственных структур состоит в объединении в единую систему или сеть множества обрабатывающих средств (процессоров), средств хранения, обработки информации и управления (разноплатформенные системы управления базами данных, различные учетные системы).

На этапе системотехнического проектирования одной из важных задач является формирование алгоритмов распределенной обработки и управления [1]. На заданной структуре аппаратно-программных средств необходимо осуществить выбор системных и прикладных программ, структур данных и способов взаимодействия этих компонентов, обеспечивающих заданный режим применения программно-информационных технологий. При этом необходимо учитывать, что в распределенных системах режим реального времени предполагает лимитирование времени ответа системы управления на запрос объекта.

Ограничение на время реакции связывается в этом случае с выполнением периодических действий [2; 3]. Моменты запроса периодической задачи можно заранее определить путем прибавления к моменту начального запроса величины, кратной известному периоду.

Таким образом, при реализации периодичных задач формирование алгоритмов распределенной обработки информации и управления должно осуществляться с учетом ограничений, представленных в форме классов ресурсов, жесткого регламента задач и временных пределов реализации задач.

Рассмотрим существующие ограничения на классы ресурсов. Решения, предложенные ранее в источниках [4–8], были связаны, прежде всего, с распределением процессоров. Вычислительные ограничения выражались в терминах времени выполнения и отношений предшествования.

Следовательно, предполагалось, что процессор является единственным ресурсом, необходимым для выполнения работ. Признание факта, что задаче кроме процессора могут потребоваться дополнительные ресурсы, приводит к исследованиям систем с ограниченными ресурсами [8].

Предлагаемая модель расширяет понятие стандартной модели [8], состоящей из множества r задач неравной длительности, связанных отношением предшествования и выполняемых на неприоритетной основе набором из n идентичных процессоров. В источнике [3] отмечается, что проблема планирования зависимых задач очень сложна, нахождение ее оптимального решения требует больших вычислительных ресурсов, сравнимых с теми, которые требуются собственно для выполнения задач управления. Отметим, что при таком подходе планирование приближается к статическому.

В нашем случае дополнительно предполагается наличие множества ресурсов $R = \{R_1, \ldots, R_S\}$. Если задаче T_j необходим ресурс R_i, то это требование принимается во внимание в течение всего периода выполнения задачи. Потребность задачи T_j в ресурсе R_i обозначается через p_{ij} $(0 \le p_{ij} \le 1)$.

Пусть $r_i(t)$ обозначает общее количество ресурсов R_i, которое используется в момент времени t. Тогда $r_i(t) = \mathrm{Sum}(p_{ij})$ для всех T_j, выполняемых в момент времени t. Основная проблема заключается в определении того, в какой степени использование различных списков планов для этой модели влияет на время завершения w.

Предположим, что для двух произвольных списков L и L' расширенная система из n процессоров выполняет набор из r задач с результирующими временами завершения w и w' соответственно. Для такой среды в [8] предлагается ряд решений, которые дают следующие результаты:

– при $R = \{R_1\}$ (в системе существует только один вид ресурсов, отличных от процессора) – $w / w' \le n$;

– при $R = \{R_1\}$ и независимости всех задач – $w / w' \le (3 - 1 / n)$;

– при $R = (R_1, R_2, \ldots, R_S\}$, независимости задач и $n \ge r - w / w' \le S + 1$.

Общий смысл этих результатов заключается в том, что добавление ресурсов в стандартную модель является причиной усиления ограничений на поведение в наихудших случаях. По существу используется одна и та же модель за исключением того, что все задачи для завершения требуют единичный интервал времени. С использованием этой модели получены ограничения на количество задач, число процессоров и правила формирования списка используемых статических планов. Показано, что эти алгоритмы ведут себя хуже, когда устраняются ограничения на ресурсы.

Классическим примером планирования независимых задач для жестких систем реального времени с одним процессором является алгоритм, разработанный Лью и Лейландом [9]. Этот алгоритм является динамическим, он использует вытесняющую многозадачность и основан на относительных статических (неизменяемых в течение жизни задачи) приоритетах.

Если предположить, что отдельные задачи требуют некоторого количества памяти в дополнение к некоторому количеству процессорного времени обработки, то следует рассматривать систему из m идентичных процессоров и n независимых задач, причем каждый процессор связан с определенным устройством памяти некоторой емкости. Когда процессор завершает выполнение задачи, в списке задач выбирается первая задача, чьи требования памяти не превышают его собственного объема. Для неприоритетной среды в источнике [8] предлагаются эвристические стратегии выбора задач на основе требований времени и памяти одновременно. Касаясь периодического набора задач, следует отметить, что ранее в этой работе для однопроцессорных планов при выполнении временных ограничений задач с более высокими приоритетами разрешалось приоритетное прерывание периодичных задач с низкими приоритетами. Нами рассматриваются неприоритетные многопроцессорные планы для набора независимых периодичных задач.

Итак, предполагается, что все задачи доступны одновременно. Цель – минимизация числа процессоров, требуемых для выполнения ряда задач при временных ограничениях на начало/конец выполнения заданий.

Пусть E_i – максимальное время выполнения одной итерации задачи J_i, а f_i – частота выполнения. Таким образом, каждой задаче J_i соответствуют два параметра J_i: (f_i, E_i), $1 \le i \le n$, где n – количество включаемых в план задач.

Период повторения равен T_i, величине обратной f_i. Рассмотрим два класса задач:

1) если n задач с J_1 по J_n распределены так, что $f_i > f_{i+1}$, то предполагается, что $f_i = 2f_{i+1}$;

2) допускаются задачи с любой частотой.

Рассматривая ограничения на время реакции системы, проанализируем периодичные задачи первого класса (с бинарным частотным распределением). Множество задач, удовлетворяющих бинарному частотному распределению, приведено в таблице.

Задачи J_1 и J_2, спланированные на разных процессорах, приведены на рис. 1. План, уменьшающий количество процессоров с двух до одного, приведен на рис. 2. Проблемой является определение минимального количества процессоров без перебора всех возможных альтернатив.

Заметим, что слияние двух задач (рис. 2) создает новую периодичную задачу с периодом t_1 (равным $2T_1$) и

временем выполнения e_1 (равным $T_1 + E_1$). Кроме того, имеются два промежутка со следующими простоями: I_1 – периодичный простой с длительностью $t_1 - e_1$ и $\Delta\frac{1}{2}$ – принудительное время простоя длинной $I_1 - E_2$ (обозначение $\Delta\frac{i}{j}$ указывает, что принудительное время простоя получается, когда J_j объединяется с J_i).

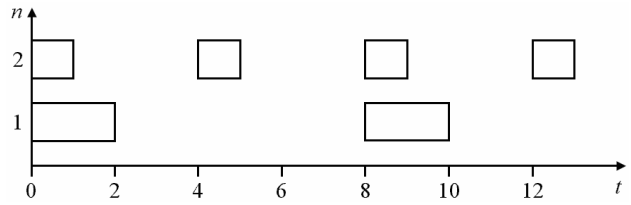


Рис. 1. Временная диаграмма для задач J_1 и J_2

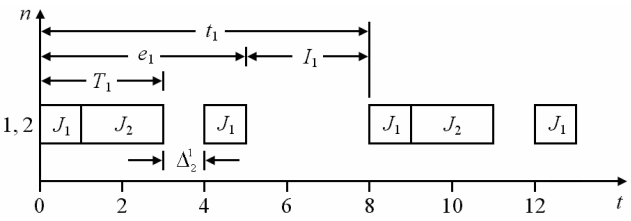


Рис. 2. Ослабление ограничений на число процессоров путем слияния задач

В процессе объединения остальных задач плана нет необходимости рассматривать размещение задач в интервале принудительного простоя. Вместо этого для такой среды план с минимальным числом процессоров формируется в соответствии со следующим алгоритмом:

1) пусть J_1^*, J_2^*, – подмножества задач, назначаемых процессорам P_1, P_2. Сначала $J_1^* = J_2^* = \ldots = \varnothing$, а $I_1 = I_2 = \ldots = \infty$. Всякий раз, когда задача J_j добавляется в некоторое пустое подмножество, J_1^*, $I_1 = T_j - E_j$;

2) чтобы назначить очередную задачу J_i, необходимо найти такое наименьшее значение I_i, чтобы выполнялось условие $E_i \le I_i$. Добавить J_i в подмножество J_1^*.

В случае, когда устранена бинарная частотная связь между задачами, принятая ранее, т. е. в режиме реального времени, реализуются периодичные задачи с независимым распределением частот, то задача становится более сложной, а оптимальное решение не может быть найдено точными методами. Были разработаны эвристические алгоритмы и проведено их относительное сравнение с применением моделирования. Предлагаемые подходы делятся на три группы.

1. В порядке уменьшения частоты. Задачи располагаются в порядке уменьшения частоты, их назначение также должно проходить в этом порядке.

2. В порядке уменьшения критерия загрузки. Критерий загрузки задачи J_i, обозначаемый L_i, определяется следующим образом: $L_i = E_i / T_i$.

3. Сохранение минимальной длины критического интервала. Критический интервал между двумя задачами определяется как минимальный интервал между временем завершения первой задачи и временем начала выполнения второй задачи в некоторой точке плана. Определение этого интервала не включает первую итерацию обоих задач, где по определению начало выполнения второй задачи немедленно следует за завершением первой задачи.

При тестировании данных методов задачи разделялись на два класса. В первом классе частоты задач кратны более, чем двум базовым частотам, а во втором – не более, чем двум базовым частотам. Ни один из алгоритмов не показал значительного превосходства над другими. Однако *подход 2* исключительно хорошо показал себя на задачах первого класса. *Подход 3* лучше решает некоторые задачи второго класса, а *подходы 1*, *2* неплохо решают задачи, которые оказались трудными для *подхода 3*. В этом нет ничего необычного, так как число процессоров, необходимых для задач второго класса, было значительно меньше, чем для задач первого класса.

Также были обнаружены некоторые интересные закономерности. Во многих случаях уменьшение частот задач или времени их выполнения может привести к увеличению количества требуемых процессоров. И наоборот, требуемое количество процессоров может быть уменьшено за счет увеличения частот задач или времен выполнения, т. е. путем увеличения загруженности процессора.

В источнике [6] показано, что рассмотренные алгоритмы могут быть реализованы как с помощью моделей одного класса, так и с использованием многокомпонентной сетевой модели, включающей детерминированные [7; 9] и стохастические компоненты [10]. Концепция многокомпонентной сетевой модели с GERT-подобной узловой логикой [6] позволяет объединить различные программные компоненты модельно-алгоритмического обеспечения единой базой данных и обеспечить эффективное формирование алгоритмов распределенной обработки и управления с учетом периодичных задач.

Библиографический список

1. Слепцов, А. И. Автоматизация проектирования управляющих систем / А. И. Слепцов, А. А. Юрасов. Киев : Техника, 1986.

2. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. СПб. : Питер, 1999.

3. Олифер, В. Г. Сетевые операционные системы / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. СПб. : Питер, 2001.

Характеристики для множества задач с бинарным частотным распределением

Задача	Частота	Перθод	Время выполненθя
J_1	1/4	4	1
J_2	1/8	8	2
J_3	1/16	16	1½
J_4	1/32	32	5
J_5	1/64	64	3

4. Барский, А. Б. Параллельные процессы в вычислительных системах / А. Б. Барский. М. : Радио и связь, 1990.

5. Воеводин, В. В. Математические модели и методы в параллельных процессах / В. В. Воеводин. М. : Наука, 1986.

6. Ковалев, И. В. Моделирование и оптимизация параллельных процессов в информационно-управляющих системах / И. В. Ковалев, Р. Ю. Царев ; Краснояр. гос. техн. ун-т. Красноярск, 2003.

7. Филлипс, Д. Методы анализа сетей / Д. Филлипс, А. Гарсия-Диас. М. : Мир, 1984.

8. Gonzales, J. M. Deterministic Processor Scheduling / J. M. Gonzales // Computing Surveys. Vol. 9. No. 3. 1977.

9. Phillips, D. T. Fundamentals of network analysis / D. T. Phillips, A. Garsia-Diaz. Prentice-Hall, Inc. Englewood Cliffs. New Jersy, 1981.

10. Neumann, K. Stochastic Project Networks. Temporal Analysis, Scheduling and Cost Minimization / K. Neumann / / Lecture Notes in Economics and Mathematical Systems, No. 34, Springer-Verlag, 1990.

N. A. Alexeev, O. V. Bogdanova, A. A. Volkov

THE PLANING OF PROBLEMS WHEN MULTI-RESOURCES REALIZING THE DISTRIBUTED INFORMATION PROCESSING AND CONTROL ALGORITHMS

The problem of task planning during information processing and control in distributed real-time systems is considered. It is offered algorithm of forming the plan with minimum number of processors. Heuristic algorithms of planning are considered and their relative comparison is presented.

УДК 519.68

В. В. Тынченко

МНОГОКРИТЕРИАЛЬНАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МОДЕЛЕЙ ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ ГЕНЕТИЧЕСКИМИ АЛГОРИТМАМИ[1]

Обсуждается применение эволюционного подхода для построения нейросетевых моделей. Формулируется постановка задачи многокритериальной безусловной оптимизации структуры нейронной сети. Для решения поставленной задачи используются многокритериальные параллельные генетические алгоритмы.

Нейросетевое моделирование является в настоящее время одним из эффективных подходов к решению сложных технических задач, таких как автоматизация процессов распознавания образов, адаптивное управление, аппроксимация функционалов, прогнозирование, создание экспертных систем, организация ассоциативной памяти.

Искусственная нейронная сеть (ИНС) – это набор нейронов, соединенных между собой. С конструктивной точки зрения нейрон – это устройство получения функции нескольких переменных с возможностью настройки его параметров. В общем случае нейрон имеет один выход и несколько входов (синапсов), которые осуществляют связь между нейронами. Математическая модель нейрона имеет следующий вид:

$$y = f(S),$$
$$S = \sum_{i=1}^{N} W_i \cdot x_i , \qquad (1)$$

где y – величина сигнала на выходе нейрона; f – функция активации нейрона; x_i – величина сигнала на i-ом входе нейрона; W_i – весовой коэффициент i-го входа нейрона.

В соответствии с данной моделью сигнал на выходе нейрона формируется следующим образом: сумматор осуществляет сложение взвешенных входов, а преобразователь реализует некоторую активационную функцию от выхода сумматора. В общем случае активационная функция является нелинейной, однако практикуют и линейные функции.

Наиболее общим случаем организации нейронов в сеть является многосвязная ИНС, где каждый нейрон может быть связан с любым другим нейроном [1].

Одним из неформализованных моментов практического применения нейросетевого моделирования является выбор структуры ИНС, которая определяется количеством нейронов, их активационными функциями, а также наличием связей между конкретными нейронами. Зачастую структура нейросети выбирается исходя из особенностей решаемой задачи, а также на основе рекомендаций специалиста, имеющего достаточный опыт работы с подобными системами. Автоматизация этого процесса предполагает решение многопараметрической оптимизационной задачи выбора эффективной структуры ИНС.

При решении оптимизационной задачи выбора эффективной структуры ИНС обычно в качестве критерия оценки эффективности нейросетевых моделей используется общая среднеквадратичная погрешность их обучения, которую необходимо минимизировать. При решении ряда задач на основе нейросетевого моделирования

[1] Работа выполняется при поддержке ФЦНТП по теме 2006-РИ-19.0/001/377 (государственный контракт № 02.442.11.7337).

требуется выполнение многократных расчетов по нейросетевой модели за короткие промежутки времени, что говорит о целесообразности добавления еще одного критерия оптимизации – оценки эффективности построенной ИНС по вычислительной сложности, которую также необходимо минимизировать.

Формализуем постановку задачи многокритериальной безусловной оптимизации структуры ИНС следующим образом:

$$\begin{cases} E(C,W,\overline{af}) \to \min\limits_{C,W,af}, \\ CD(C,\overline{af}) \to \min\limits_{C,af}, \end{cases} \quad (2)$$

где $E(\cdot)$ – общая среднеквадратичная погрешность обучения ИНС; CD(Ч) – вычислительная сложность ИНС; C – матрица связей ИНС размерности $N_н \cdot N_н$; W – матрица весов связей ИНС размерности $N_н \cdot N_н$; $\overline{af}$ – вектор активационных функций на нейронах в ИНС размерности $N_н$; $N_н$ – количество нейронов в ИНС.

Общая среднеквадратичная погрешность обучения ИНС вычисляется по формуле

$$E(C,W,\overline{af}) = \frac{\sum\limits_{j=1}^{m} \sqrt{\dfrac{\sum\limits_{k=1}^{n} \left(OUT_k^j(C,W,\overline{af}) - y_k^j \right)^2}{n}}}{m}, \quad (3)$$

где $OUT_k^j(C,W,\overline{af})$ – реальное значение k-го выхода ИНС, имеющей структуру $(C,W,\overline{af})$ при подаче на ее входы j-го образа; y_k^j – идеальное (желаемое) выходное состояние k-го нейрона; n – количество нейронов на выходе сети; m – размер обучающей выборки.

Вычислительная сложность нейросетевой модели напрямую зависит от временных затрат на обработку всех связей нейросети и на вычисление активационных функций на каждом нейроне, поэтому представляется логичным оценивать вычислительную сложность ИНС следующим образом:

$$cd(C,\overline{af},P) = \sum_{i=1}^{N_{св}(C)} T_i^{св}(C,P) + \sum_{i=1}^{N_н} T_i^{акт}(\overline{af},P), \quad (4)$$

где $N_{св}(\cdot)$ – количество связей ИНС; $T_i^{св}(\cdot)$ – время обработки i-ой связи ИНС; $T_i^{акт}(\cdot)$ – время вычисления активационной функции на i-ом нейроне; $N_н$ – количество нейронов ИНС; P – производительность вычислительной системы.

Под временем обработки одной связи ИНС понимается время добавления веса данной связи к сумме весов уже обработанных ранее связей на входе конкретного нейрона:

$$T_i^{св}(C,P) = T\left(\sum_{j=1}^{n+1} w_{ij}\right) - T\left(\sum_{j=1}^{n} w_{ij}\right), \quad (5)$$

где $T(x)$ – время вычисления x; w_{ij} – i-ый вход j-го нейрона; $n = 0, 1, 2, \ldots$ – количество обработанных связей.

Время обработки одинаково для всех связей и определяется программной и аппаратной реализацией ИНС. Тогда формула (4) примет вид

$$cd(C,\overline{af},P) = N_{св}(C) \cdot T^{св}(P) + \sum_{i=1}^{N_н} T_i^{акт}(\overline{af},P), \quad (6)$$

где $T^{св}(P)$ – время обработки одной связи ИНС.

Время $T^{св}(P)$ зависит от вычислительной мощности конкретной вычислительной системы, поэтому для унификации оценки вычислительной сложности ИНС перейдем к безразмерным величинам, не зависящим от времени. Для этого разделим обе части выражения (6) на $T^{св}(P)$:

$$\frac{cd(C,\overline{af},P)}{T^{св}(P)} = N_{св}(C) + \sum_{i=1}^{N_н} \frac{T_i^{акт}(\overline{af},P)}{T^{св}(P)}. \quad (7)$$

Обозначим $CD(C,\overline{af}) = \dfrac{cd(C,\overline{af},P)}{T^{св}(P)}$.

Введем не зависящий от аппаратной реализации коэффициент относительной сложности вычисления активационной функции на i-м нейроне как $K_i(\overline{af}) = \dfrac{T_i^{акт}(\overline{af},P)}{T^{св}(P)}$, тогда критерий оценки вычислительной сложности нейросетевой модели примет окончательный вид

$$CD(C,\overline{af}) = N_{св}(C) + \sum_{i=1}^{N_н} K_i(\overline{af}). \quad (8)$$

Для решения многокритериальных задач оптимизации существует ряд классических методов, однако они плохо подходят для решения сложных задач в силу следующих присущих этим методам недостатков:

– некоторые методы могут быть чувствительны к характеру формы Парето-оптимального фронта;

– может требоваться некоторая дополнительная информация, которая чаще всего неизвестна;

– для получения Парето-оптимального множества требуется несколько независимых друг от друга циклов оптимизации, согласование которых может вызвать чрезмерное количество вычислений.

Вследствие этого для решения многокритериальной оптимизационной задачи выбора эффективной структуры ИНС предлагается применить эволюционный подход, позволяющий преодолеть сложные моменты, возникающие при использовании классических методов. Эволюционные алгоритмы обеспечивают глобальный просмотр пространства поиска решений, позволяют избегать локальных минимумов и получать много альтернативных решений за один цикл оптимизации.

Эволюционный подход к проектированию структуры ИНС можно разбить на два этапа.

На *первом этапе* осуществляется выбор соответствующей схемы представления структуры нейросети. Информация о структуре может непосредственно кодироваться в виде двоичных последовательностей, т. е. каждая связь и каждый узел (нейрон) прямо специфицируется определенным количеством битов. Такой способ представления называется схемой непосредственного кодирования (сильная схема спецификации). В данной схеме каждая связь нейронной сети непосредственно задается ее двоичным представлением. Матрица C размерностью $n \cdot n$, $C = [c_{ij}]_{n \cdot n}$ может представлять связи нейронной сети, состоящей из n узлов (нейронов), причем значение c_{ij} определяет наличие или отсутствие связи между i-ым и j-ым нейронами. Если $c_{ij} = 1$, то связь существует, если $c_{ij} = 0$, то связь отсутствует. При таком подходе двоичная

последовательность (хромосома), представляющая связи нейронной сети, имеет вид комбинации строк (или столбцов) матрицы C. Если принимать во внимание лишь однонаправленные связи, это позволит учитывать только те элементы матрицы C, которые задают связи данного узла (нейрона) со следующими узлами. Кроме этого, хромосома должна содержать информацию о виде активационной функции на каждом нейроне. Информацию об активационной функции можно добавлять в конец последовательности бит соответствующего нейрона.

Второй этап включает в себя выполнение пяти шагов.

1. Декодирование каждой особи текущей популяции для описания структуры нейронной сети.

2. Обучение каждой нейронной сети, имеющей структуру, полученную на первом шаге. Обучение ИНС с заранее определенной структурой является многопараметрической задачей оптимизации, которая заключается в поиске оптимального набора весов связей нейросети. Для решения данной задачи также целесообразно использовать эволюционный подход [1; 2]. В генетических алгоритмах веса кодируются в виде двоичных последовательностей (хромосом). Каждая особь популяции характеризуется полным множеством весов нейронной сети. Оценка приспособленности особей определяется функцией приспособленности, задаваемой в виде суммы квадратов погрешностей, т. е. разностей между ожидаемыми (эталонными) и фактически получаемыми значениями на выходе сети для различных входных данных.

3. Оценивание приспособленности каждой особи (закодированной структуры ИНС).

4. Репродукция особей, согласно выбранному способу селекции.

5. Применение генетических операторов скрещивания и мутации для получения нового поколения.

В отличие от однокритериальной оптимизации, где целевая функция и функция пригодности часто идентичны, при решении многокритериальной задачи необходимо так производить назначение пригодностей и отбор, чтобы достичь Парето-оптимального множества. Различаются эволюционные методы, где критерии рассматриваются отдельно, подходы, основанные на классическом методе уплотнения, и методы, напрямую использующие концепцию доминирования по Парето. К последней группе методов относится широко известный эволюционный метод многокритериальной оптимизации FFGA (Fonseca and Fleming's Multiobjective Genetic Algorithm) [3], который представляет собой основанную на Парето-доминировании процедуру ранжирования индивидов, где ранг каждого индивида определяется числом доминирующих его индивидов.

Назначение пригодности в FFGA осуществляется в соответствии с нижеследующим алгоритмом [3].

Вход: P_t (популяция).

Выход: F (значения пригодности).

Шаг 1. Для каждого $i \, O \, P_t$ вычисляют его ранг:

$$r(i) = 1 + \left| \{ j \mid j \in P_t \wedge j \; i \} \right| \text{S},$$

где символ $|\cdot|$ обозначает мощность множества. Индивид, чей вектор решения недоминируем относительно P_t имеет ранг 1.

Шаг 2. Популяция сортируется согласно рангу r. Каждому $i \in P_t$ назначается сырая пригодность $F'(i)$, интерполируя от лучшего ($r(i) = 1$) к худшему индивиду ($r(i) \le N$).

Шаг 3. Вычисляются значения пригодностей $F(i)$ усреднением значений сырой пригодности $F'(i)$, среди индивидов i O P_t с идентичным рангом $r(i)$ (выравнивание пригодностей в целевом пространстве).

Поскольку выполнение расчетов по адаптивным поисковым алгоритмам занимает большое количество времени, для решения задачи выбора эффективной структуры ИНС целесообразно применить параллельные генетические алгоритмы (ПГА) и выполнять вычисления одновременно на нескольких независимых вычислительных устройствах. Данный подход позволит значительно повысить быстродействие и улучшить качество найденных решений.

Различия в способах распараллеливания генетического алгоритма определяются особенностями реализации основных этапов алгоритма:

– способом оценивания пригодности индивидов;

– способом реализации операторов мутации, селекции и скрещивания;

– количеством независимо эволюционирующих популяций (субпопуляций);

– способом реализации оператора миграции при наличии нескольких субпопуляций.

Наиболее распространенными и значимыми являются следующие два способа: ПГА с распределенной оценкой пригодности (Master-Slave PGA) и мультипопуляционные ПГА [4].

ПГА с распределенной оценкой пригодности использует единственную популяцию, которая разбивается на группы по числу доступных процессоров, и индивиды каждой группы оцениваются на отдельном процессоре (в идеале – один индивид на один процессор). Селекция и скрещивание носят глобальный характер, т. е. каждый индивид может конкурировать и скрещиваться с любым другим индивидом из популяции.

В мультипопуляционных ПГА популяция делится на субпопуляции, каждая из которых эволюционирует изолированно от всех других (географическая изоляция). Периодически некоторые индивиды перемещаются от одной субпопуляции к другой (мигрируют). Для реализации механизма миграции вводится дополнительный оператор – оператор миграции, определяющий следующие параметры:

– топологию связи между субпопуляциями (гиперкуб, тор, двумерная или трехмерная решетка и т. п.);

– скорость миграции (количество перемещаемых индивидов);

– схему миграции, т. е. способ отбора индивидов для перемещения в другую популяцию («лучшие», «худшие», отобранные случайным образом) и способ отбора замещаемых индивидов («лучшие», «худшие», отобранные случайным образом);

– миграционный интервал, определяющий частоту перемещения (если интервал постоянный – синхронная миграция, если интервал может изменяться в зависимости от некоторого события – асинхронная миграция).

В рамках данной работы была реализована клиент-серверная программная система, позволяющая автоматизиро-

вать процесс выбора эффективной структуры ИНС с использованием многокритериального ПГА. В качестве многокритериального генетического алгоритма в программной системе используется FFGA. Программная система предоставляет пользователю следующие возможности:

– устанавливать параметры генетического алгоритма настройки весов связей ИНС (объем популяции, генетические операторы, количество итераций и т. д.), а также изменять эти параметры в ходе работы программы;

– изменять параметры генетического алгоритма при выборе эффективной структуры ИНС (объем популяции, генетические операторы, количество итераций и т. д.), а также изменять эти параметры в ходе работы программы;

– устанавливать параметры параллельного генетического алгоритма (топологию связи между субпопуляциями, скорость и схему миграции, а также миграционный интервал);

– отслеживать в ходе работы программной системы построение графиков пригодности лучшего и худшего индивидов популяции, а также средней пригодности популяции при настройке весов ИНС;

– отслеживать в ходе работы программной системы количество недоминируемых индивидов популяции, а также построение графиков средней пригодности популяции и пригодности худшего индивида популяции при выборе эффективной структуры ИНС.

Разработанная программная система была использована для выбора эффективной структуры ИНС, а также весов связей при решении практической задачи моделирования процесса рудно-термической плавки [5].

В качестве параметров, характеризующих эффективность работы печи рудно-термической плавки, были выбраны такие параметры, которые характеризуют процесс с различных сторон, т. е. позволяют оценить технологические, энергетические и экономические аспекты. К ним относятся потери цветных металлов с отвальными шлаками (CNI); производительность (П); удельный расход электроэнергии ($W_у$); температура шлака (T); выбросы вредных веществ в атмосферу ($G_{газ}$) и другие.

В связи с высокой температурой и агрессивной средой в печи трудно получить непрерывную, надежную и полную информацию о процессе, поэтому выбор управляющих параметров обусловлен не только их весомым влиянием на процесс, но и возможностью получения непрерывной, достоверной информации о них. На основании этого в качестве основных управляющих воздействий используются электрические параметры и загрузка шихты по отдельным составляющим: количество загружаемого в печь агломерата (G_{ar}); количество загружаемого в печь кремнезема (G_{sio2}); количество загружаемого в печь кокса (G_C); количество загружаемого в печь конвертерного шлака ($О_{кш}$); ввод электрической мощности (P); заглубление электродов ($H_э$); напряжение (U) и другие.

При этом химический состав загружаемого агломерата и химический состав конвертерного шлака были приняты постоянными.

Размерность вектора входных воздействий на процесс равна 10, вектора выходных параметров также составляет 10. Для проведения экспериментов использовалась выборка из 47 точек [5].

При решении задачи нейросетевого моделирования процесса рудно-термической плавки использовалась сеть из пяти однотипных персональных компьютеров с процессорами Athlon64 3200+.

При решении задачи были выбраны следующие параметры мультипопуляционного ПГА:

– размер популяции (20 индивидов);

– количество поколений (30);

– турнирная селекция (3 индивида в турнире);

– равноточечная рекомбинация;

– средняя мутация;

– максимальное количество скрытых нейронов (10);

– топология связи между субпопуляциями (каждая с каждой);

– скорость миграции (2 индивида);

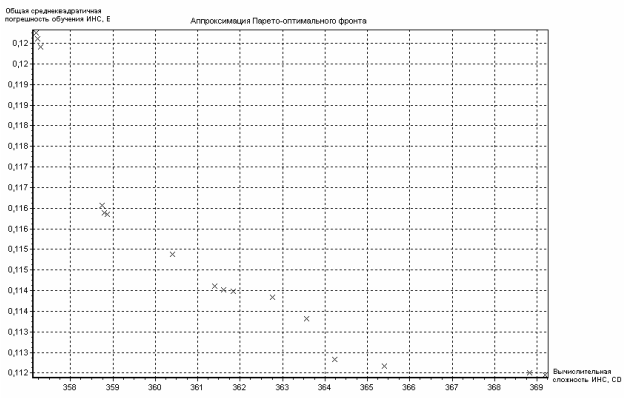
– синхронная миграция с интервалом в 3 поколения;

– схема миграции (для перемещения случайным образом отбираются недоминируемые индивиды; замещаются индивиды с наименьшим значением функции пригодности).

Список используемых активационных функций и соответствующих им коэффициентов относительной сложности вычисления приведен в таблице.

В результате решения данной задачи была получена аппроксимация Парето-множества – множество из 16-ти нейросетевых моделей с ошибкой настройки от 3,42 до 3,74 % и вычислительной сложностью, лежащей в пределах от 357,04 до 369,27.

Приближение фронта Парето на последнем поколении генетического алгоритма представлено на рисунке.



Аппроксимация Парето-оптимального фронта для задачи моделирования процесса рудно-термической плавки

Полученные результаты свидетельствуют об эффективности применения эволюционного подхода для автоматизации нейросетевого моделирования, при этом разработка и внедрение параллельных генетических алгоритмов позволит значительно ускорить процесс построения нейросетевых моделей, повысить их качество и предоставить возможность выбора нейросетевой модели из множества альтернатив, исходя из требуемой точности и имеющихся вычислительных ресурсов.

Библиографический список

1. Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилиньс-

кий, Л. Рутковский. М. : Горячая линия, Телеком, 2004. 452 с. : ил.

2. Семенкин, Е. С. Метод обобщенного адаптивного поиска для синтеза систем управления сложными объектами / Е. С. Семенкин, В. А. Лебедев. М. : МАКС Пресс, 2002. 320 с.

3. Zitzler, E. Multiobjective evolutionary algorithms: A comparative case study and the strength Pareto approach / E. Zitzler, L. Thiele // IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 1999.

4. Cantu-Paz, E. Designing efficient master-slave parallel genetic algorithms / E. Cantu-Paz // IllGAL Report 97004 ; The University of Illinois, 1997.

5. Гонебная, О. Е. Экспертная система рудно-термической плавки: дис. … канд. техн. наук / О. Е. Гонебная ; Гос. ун-т цветных металлов и золота. Красноярск, 2004. 136 с.

Активационные функции и коэффициенты их относительной сложности

Актθвацθонная фσнкцθя	Коэффθцθент относθтельной сложностθ вычθсленθя актθвацθонной фσнкцθθ
$f(x)=\frac{2}{1+e^{-\frac{x}{2}}}-1$	36,74
2	3
$f(x)=th(x)$	33,49
$f(x)=2\cdot e^{-\frac{x^2}{4}}-1$	32,12
$f(x)=1-2\cdot e^{-x^2}$	30,69
$f(x)=\frac{x^2}{200}-1$	1,43
$f(x)=\frac{x^3}{8\,000}$	1,63
$f(x)=\frac{2\cdot \mathrm{arctg}(x)}{3}$	32,24
$f(x)=1-\frac{\lvert x\rvert}{10}$	4,79

V. V. Tynchenko

MULTIOBJECTIVE OPTIMIZATION OF NEURAL NETWORK MODELS STRUCTURE WITH PARALLEL GENETIC ALGORITHMS

An evolutionary approach for neural network models construction is discussed. The problem statement of neural network structure multiobjective unconstrained optimization is formulated. The multiobjective parallel genetic algorithms are used to solve assigned task.

УДК 519.68

Е. С. Семенкин, М. Е. Семенкина[1]

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА С МОДИФИЦИРОВАННЫМ ОПЕРАТОРОМ РАВНОМЕРНОЙ РЕКОМБИНАЦИИ ПРИ АВТОМАТИЗИРОВАННОМ ФОРМИРОВАНИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Разработан, реализован и исследован генетический алгоритм с модифицированным оператором обобщенного скрещивания. Алгоритм с оптимальными настройками использован для автоматического формирования математических моделей методами интеллектуальных информационных технологий (символьная регрессия, нейронные сети, нечеткая логика).

Математическое моделирование – это процесс изучения какого-либо явления с помощью математической модели, подразделяющийся на несколько этапов. Первым этапом является создание математической модели, тре-

[1] Работа финансируется грантом Президента РФ для поддержки талантливой молодежи (2007 г.)

бующее от человека широкого знания фактов, относящихся к изучаемым явлениям, и глубокого проникновения в их взаимосвязи. Это одна из наиболее трудоемких стадий, отнимающая большое количество времени и ресурсов. В конечном счете, от математической модели требуется определенная точность выходных данных, позволяющая производить прогнозирование моделируемого процесса, управление моделируемым объектом, процессом.

При моделировании сложных систем и процессов часто используются так называемые интеллектуальные информационные технологии (ИИТ) – системы на нечеткой логике (НЛС) [1] – как метод формирования причинно-следственных связей, искусственные нейронные сети (ИНС) [2] как метод аппроксимации или классификации, генетическое программирование (ГП) [3] как метод автоматического генерирования математических выражений.

Проектирование интеллектуальных информационных технологий само по себе является достаточно сложной процедурой, включающей выбор эффективных структур. Так, при создании НЛС необходимо формировать базу знаний (систему правил «если–то») и настраивать семантику лингвистических переменных, при создании ИНС – выбирать структуру нейросети (количество слоев, количество нейронов на слое, типы функций активации, наличие связей между нейронами) и настраивать весовые коэффициенты синоптических связей, для построения математических моделей в ГП – выбирать структуру функциональной зависимости и настраивать ее коэффициенты. Поэтому для автоматизации проектирования ИИТ должны использоваться оптимизационные процедуры, позволяющие осуществлять комбинаторный поиск на сложных структурах. Так как обычные методы математического программирования здесь не работают, применяют методы эволюционного поиска, в частности, генетический алгоритм (ГА) [4]. Проблемой, требующей разрешения, является то, что ГА имеет настраиваемые параметры, неудачный выбор которых может привести к плохой работе алгоритма. Поэтому правильный выбор параметров ГА для решения задач проектирования интеллектуальных технологий математического моделирования является актуальной научной задачей.

Целью данной работы является повышение эффективности применения эволюционных алгоритмов в задачах математического моделирования интеллектуальными информационными технологиями.

В данной работе при проведении экспериментов использовались программные системы автоматизации проектирования ИИТ, разработанные в Сибирском государственном аэрокосмическом университете имени академика М. Ф. Решетнева, а также программная система, реализующая модифицированный ГА, специально разработанные авторами.

Программные системы автоматизированного проектирования интеллектуальных информационных технологий. В работе использовалась программная система [5], позволяющая при помощи алгоритма генетического программирования строить по результатам наблюдений математические модели в явном аналитическом виде и производить настройку коэффициентов символьного выражения. Перед реализацией алгоритма задаются терминальное и функциональное множества. Функциональное множество F может состоять из функций, процедур. Терминальное множество T состоит из набора переменных и констант. Алгоритм работает с множеством индивидов, представляющих собой деревья, в вершинах которых находятся элементы функционального и терминального множеств. Существует несколько методов генерирования деревьев: полный метод, метод выращивания, комбинированный; несколько видов скрещивания: одноточечное, многоточечное и другие; селекции: пропорциональная, ранговая, турнирная; и мутации: низкая, средняя, высокая. Их выбор определяет эффективность работы системы.

Использованная в работе программная система [6] позволяет автоматически строить нейронную сеть и оптимизировать ее структуру и параметры. ГА применяется на обеих стадиях, поэтому для эффективной работы системы необходимо его настраивать дважды, так как настройки эффективных ГА выбора структуры и настройки весовых коэффициентов не обязаны совпадать.

Для исследования эффективности применения эволюционных алгоритмов при построении базы правил системы на нечеткой логике использовалась программа [7], автоматически генерирующая базу правил нечеткого контроллера, управляющего движением тележки с перевернутым маятником (классическая тестовая задача для нечетких систем управления). При генерировании НЛС используется ГА, также требующий соответствующей настройки.

Все используемые программные системы для обеспечения их эффективной работы требуют выполнения подбора настроек ГА. Поэтому перед проведением экспериментов с системами, автоматически проектирующими ИИТ, было организовано исследование эффективности ГА для изучения ее зависимости от выбора настроек.

Сравнение поисковых алгоритмов решения сложных задач оптимизации. Существует достаточно большое количество оптимизационных процедур, позволяющих осуществлять комбинаторный поиск на сложных структурах.

Метод полного перебора заключается в проверке каждого возможного варианта и выявлении оптимального. К недостаткам полного перебора относят большое количество затрачиваемых ресурсов (время, число вычислений целевой функции).

Мультистарт локального поиска – это метод, заключающийся в случайном выборе начальных точек и осуществлении локального спуска из них. Первоначально задается система окрестностей точки, после чего для каждой стартовой точки производится просмотр ее окрестностей, переход в точку, имеющую лучшее значение целевой функции. Для вновь получившейся точки операция повторяется. В том случае, если в окрестности точки не была обнаружена точка с лучшим значением целевой функции, данная точка является локальным минимумом. Если используется случайность, то показатель надежности может варьироваться.

Генетический алгоритм – это стохастическая оптимизационная процедура, имитирующая естественный эволюционный процесс [4]. Схематично процесс решения задачи можно представить в виде этапов:

1) генерирование начальной популяции индивидов (инициализация);

2) выращивание (восстановление индивида (фенотипа) по известному генотипу, перевод из двоичной системы в десятичную систему исчисления);

3) определение значений целевой функции для каждого индивида:

– *цикл 1*. Пока не будет выполнено условие остановки (найдено решение, исчерпаны ресурсы);

– *цикл 2*. Пока не сформированы все индивиды новой популяции;

– операция селекции (выбираются особи из текущей популяции и заносятся в популяцию родителей, из которых в свою очередь отбирается пара индивидов);

– операция скрещивания (отобранных селекцией индивидов);

– операция мутации (потомка, полученного при скрещивании);

– окончание *цикла 2*;

4) вычисление целевой функции для потомков новой популяции;

5) определение наилучшего индивида;

6) окончание *цикла 1*.

ГА использует случайность, поэтому для определения его эффективности необходимо проводить усреднение показателя надежности по нескольким прогонам.

Каждый из перечисленных выше методов имеет свои преимущества и недостатки, поэтому необходимо сравнить их по эффективности и выбрать лучший для дальнейшей работы с ним. Поэтому прежде чем проводить эксперименты с проектированием ИИТ, было выполнено исследование эффективности ГА на тестовых задачах оптимизации с дискретными структурами на примере решения диофантовых уравнений [8]. Для этого была разработана соответствующая программная система и выбран репрезентативный набор тестовых задач. Результаты экспериментов приведены в табл. 1.

Показателем эффективности ГА была выбрана его надежность, т. е. доля запусков с успешным решением задачи при тысячи прогонах. Всего были проведены эксперименты с 10 задачами, среди которых были диофантовы уравнения различных типов, а также системы диофантовых уравнений. В результате исследований было установлено следующее [8]: ГА намного превосходит полный перебор по быстродействию, при этом не уступает ему по надежности при правильном выборе настроек; турнирная селекция, высокая вероятность мутации и равномерное скрещивание являются наиболее эффективными выборами настроек ГА; ГА слабо чувствителен к росту размерности поискового пространства, что делает его перспективным в практических задачах; выбор наиболее эффективного варианта ГА для решаемой задачи требует ее многократного решения, что очень неэффективно в практических задачах.

Далее было выполнено сравнение эффективности ГА с его естественным конкурентом – мультистартом локального поиска (МЛС). Сравнение проводилось по надежности при равных затратах на поиск. Фрагменты результатов приведен в табл. 2.

Получен следующий вывод [9]: на двух простейших задачах 2, 3 (большое количество одинаковых локальных минимумов) МЛС незначительно превосходит ГА, на сложных задачах 4, 6 (большое количество различных локальных минимумов, слабо отличающихся от глобального) МЛС проигрывает даже худшему из ГА, на остальных задачах МЛС значительно проигрывает лучшему ГА, проигрывает среднему ГА и слегка превосходит худший ГА. Таким образом, при решении сложных задач лучше использовать ГА в расчете на то, что выбираемые (в худшем случае – наугад) его настройки не будут самыми плохими.

Таблица 1

Пример оценки надежности ГА при решении диофантовых уравнений

Тθп селекцθθ	Уровень мθтацθθ	ГА с одноточечным скрещθванθем				ГА с равномерным скрещθванθем			
		Колθчество поколенθй – Колθчество θндθвθдов				Колθчество поколенθй – Колθчество θндθвθдов			
		20–50	50–20	10–100	100–10	20–50	50–20	10–100	100–10
Пропорцθональная	Нθзкая	0,817	0,818	0,866	0,903	0,821	0,767	0,871	0,89
	Средняя	0,924	0,954	0,951	0,982	0,914	0,967	0,937	0,993
	Высокая	0,976	0,98	0,979	0,984	0,97	0,99	0,957	0,993
Тθрнθрная $k = 3$	Нθзкая	0,9	0,703	0,963	0,63	0,955	0,751	0,959	0,644
	Средняя	0,983	0,979	0,962	0,97	0,973	0,986	0,958	0,983
	Высокая	0,943	0,948	0,914	0,965	0,904	0,937	0,894	0,956
Тθрнθрная $k = 5$	Нθзкая	0,797	0,563	0,953	0,495	0,878	0,614	0,975	0,491
	Средняя	0,957	0,855	0,983	0,87	0,969	0,862	0,984	0,836
	Высокая	0,978	0,984	0,956	0,992	0,974	0,979	0,939	0,989
Тθрнθрная $k = 8$	Нθзкая	0,757	0,511	0,887	0,476	0,726	0,576	0,924	0,463
	Средняя	0,875	0,715	0,965	0,723	0,893	0,723	0,968	0,697
	Высокая	0,988	0,993	0,985	0,988	0,989	0,995	0,965	0,994
Тθрнθрная $k = 10$	Нθзкая	0,654	0,489	0,867	0,419	0,682	0,506	0,883	0,451
	Средняя	0,831	0,692	0,935	0,671	0,82	0,673	0,948	0,67
	Высокая	0,984	0,974	0,986	0,983	0,983	0,978	0,966	0,992

Перспективность ГА при решении сложных задач привела к идее усовершенствования его операторов.

Генетический алгоритм с модифицированным оператором обобщенной рекомбинации. Так как в большинстве тестовых задач одним из наиболее эффективных вариантов является ГА с равномерным скрещиванием, возникла идея модифицировать этот оператор. Суть оператора равномерного скрещивания состоит в том, что каждый ген нового решения (потомка) с равной вероятностью выбирается из соответствующих генов его «родителей». В стандартном ГА родителей двое, хотя очевидно, что равномерное скрещивание допускает произвольное количество родителей, и потомок с равной вероятностью получает ген от родителя с высокой или низкой пригодностью, т. е. селективное давление на данном этапе не оказывается.

В этой связи в данной работе был разработан ГА с модифицированным оператором множественной равномерной рекомбинации, которая позволяет использовать для получения нового решения гены произвольного количества родителей (двух и более).

Первая модификация равномерного скрещивания – это пропорционально-равномерное скрещивание: вероятность того, что ген именно этого родителя будет передан потомку, пропорциональна его пригодности. Вторая модификация – турнирное равномерное скрещивание: из родителей (если их больше двух) организуется турнир, победитель которого передает свой ген потомку. Третья – ранговое равномерное скрещивание: согласно пригодности родителям присваиваются ранги, вероятность того, что ген именно этого родителя передастся потомку, пропорциональна рангу претендента, а не пригодности.

Данная модификация ГА была реализована в виде программной системы, испытана на тестовых задачах и зарегистрирована во ВНТИЦ [10]. Фрагмент результатов сравнения эффективности различных модификаций оператора равномерного скрещивания приведен в табл. 3.

Основные результаты могут быть сформулированы следующим образом [11]: наибольшей эффективностью обладает алгоритм с семью родителями для одного потомка, вторым по эффективности (незначительно уступающим первому) является алгоритм с двумя родителями, остальные – значительно им уступают; наиболее эффективным оператором равномерного скрещивания является ранговое равномерное, вторым по эффективности является стандартное равновероятное, остальные значительно им уступают, хотя на ряде задач турнирное равномерное скрещивание оказалось значительно лучше остальных вариантов (но значительно хуже на других задачах).

Итогом проведенных исследований ГА можно признать следующее: для автоматизации проектирования ИИТ следовало бы использовать ГА с множественной (семь или более родителей) ранговой равномерной рекомбинацией. Однако в связи с тем, что ГА с семью родителями требует б*о*льших затрат времени, без существенных потерь в эффективности можно использовать вариант с двумя родителями.

Численные эксперименты. Выбранные настройки генетического алгоритма для задач многоэкстремальной безусловной оптимизации являются лучшими, во всяком случае, значительно выше среднего. При помощи генетического алгоритма с равномерным скрещиванием, высокой вероятностью мутации и турнирной селекцией была построена база правил для нечеткого контролера, управляющего перевернутым маятником, построены и настроены нейронные сети оптимальной структуры для тестовых задач, восстановлен целый ряд тестовых функций в явном аналитическом виде.

С помощью программной системы [7] генерировалась база знаний НЛС управления перевернутым маятником при фиксированной семантике лингвистических переменных. Устанавливались размер популяции в 100 индивидов, длительность работы – 100 поколений. Установки ГА выбирались в соответствии с полученными рекомендациями – ранговое равномерное скрещивание, турнирная селекция, высокая мутация.

Представим результаты, усредненные по многим прогонам: надежность – 1 (каждый раз ГА находил базу знаний, уверенно решающую задачу), затраты – в среднем 30,8 поколения до первого обнаружения допустимой базы знаний, средняя пригодность лучшей базы знаний – 3,903 7.

После замены турнирной селекции на пропорциональную и скрещивания на одноточечное результат оказался (0,9; 62; 3,744 6), т. е. хуже по всем трем показателям эффективности. При других настройках также получаем ухудшение. Самый плохой результат – ранговая селекция, двухточечное скрещивание, слабая мутация – (0,1; 80; 2,288 4).

С помощью программной системы [6] генерировалась нейронная сеть, восстанавливающая зависимость $y = \sin(x)$ с добавленным шумом в 5 %. Установки ГА, оптимизирующего структуру ИНС, и ГА, настраивающего весовые коэффициенты ИНС, выбирались как прежде. Полученная после 30 поколений (50 мин счета) луч-

Таблица 2

Фрагмент таблицы результатов сравнения МЛС и ГА

Задача	Надежность МЛС	Надежность лσчшего ГА	Надежность среднего ГА	Надежность хσдшего ГА
1	0,093	0,999	0,628	0,07
2	1	0,995	0,864	0,419
3	1	0,994	0,865	0,421
4	0,606	0,997	0,770	0,550
5	0,188	0,998	0,740	0,212
6	0,789	0,996	0,820	0,610

шая структура ИНС была дообучена и дала результат со среднеквадратичной погрешностью 0,007 429 59. При замене настроек ГА получаемые результаты ухудшились (например, при одноточечном скрещивании ошибка составляла 0,009 742 даже на 83 поколении через 2,5 ч работы программы). Аналогичные результаты были получены и при восстановлении других зависимостей с шумом или без шума. Исчерпывающие исследования эффективности ГА при всех настройках не были проведены в связи со значительными временными затратами на эксперименты.

Для решения задач восстановления функциональных зависимостей по результатам наблюдений использовалась программная система [5]. При рекомендованном нами выборе настроек алгоритм ГП показал высокие результаты.

Параметры алгоритма генетического программирования: 100 индивидов, турнирная селекция, высокая вероятность мутации, полный метод выращивания, начальная глубина дерева 4, размерность турнира 4. *Параметры генетического алгоритма:* 50 индивидов,100 поколений, точность параметров 0,01, [–10; 10], размер турнира 4.

Была восстановлена функция $y = x^2 + 2x + 3$ на отрезке [–2; 2], выборка случайная, объем 100. Функциональное множество {+, -, *, /}. Точное решение было найдено на 4-ом поколении 41-ом дереве.

Восстанавливалась зависимость $y = \sin(x)$ на отрезке $[-1{,}5\pi; 1{,}5\pi]$, выборка случайная, объем 100. Функциональное множество {+, –, *, /}. Решение

$$f(x) = \frac{x(0{,}075\,413x^2 - 2{,}508\,5)(x - 3{,}15)(x + 3{,}15)}{x^2 + 25}$$

было найдено на 27 поколении. Среднеквадратическая ошибка составила 0,007 452 135 535 545 14.

При расширенном функциональном множестве, включающем тригонометрические функции, точное символьное выражение восстанавливается не позже 5-го поколения.

Восстанавливался закон всемирного тяготения, выборка случайная, объем 1 000. Функциональное множество {+, –, *, /}. Точное символьное выражение находится всегда и не позже 4–5-го поколения.

Восстанавливалась зависимость $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x e^{-\frac{t^2}{2}} dt.$

Функциональное множество {+, –, *, /, sin, cos, exp}. Выборка случайная, объем 200, функция восстанавливается на отрезке [–5; 5].

На 214-ом поколении получено следующее решение:

$$0{,}500\,3 + 0{,}141\,331\,058 \cdot x +$$
$$+0{,}218\,711\,887 \cdot \sin x + 0{,}032\,064\,685 \cdot \sin 1{,}77x +$$
$$+\frac{\sin(\sin x)}{68{,}857\,896\,96e^{1{,}1x^2}},$$

среднеквадратическая ошибка составила 0,000 976 912 053 703 936.

Восстанавливалась зависимость $f(x) = \int_0^x \frac{\sin(t)}{t}\, dt$.

Выборка случайная, объем 100, функция восстанавливается на промежутке [1; 7]. Функциональное множество {+, –, *, /, sin, cos}. На 40-ом поколении было найдено решение с точностью 0,002 573 587 789 442 59, а на 157-ом поколении получено выражение

$$f(x) = \left\{ \left[(x - 9{,}2) + \cos\left(\frac{0{,}4693x - 0{,}2x^2 + 2x^3}{2{,}71x} \right) - \right.\right.$$
$$\left. - \left(\frac{6{,}57 - x}{x} \right) \cdot \left(\frac{0{,}049\,824}{x} \right) \cdot \sin\left(\frac{x - 1{,}52}{x} \right) \times \right] \times$$
$$\left. \times \left(\frac{4{,}38(0{,}870x)(x - 3{,}01)}{2{,}96} \right) \right\}$$
$$\times \left(-\frac{0{,}103 + x^2}{10{,}3x} \right),$$

среднеквадратичная ошибка 0,001 272 900 2.

Так как было установлено, что при полном функциональном множестве, включающем все требуемые для восстановления зависимости функции, может быть восстановлена точная аналитическая формула, возникла идея применить алгоритм генетического программирования для символьного восстановления частных решений дифференциальных уравнений (для этого необходимо модифицировать способ оценивания пригодности решения, заменяя производные их конечно-разностными аналогами).

Решались различные дифференциальные уравнения с переменным успехом. Так, решения дифференциальных уравнений

$$y'' + \ln(x)y' +$$
$$+\sqrt{y} = e^{-\frac{x^2}{4}} \left(e^{-\frac{x^2}{4}} \left(x^2 - x\ln x - 1 \right) + 1 \right),$$
$$y'' + y' + y = \frac{\cos x}{x} -$$
$$-\left(2\frac{\cos x}{x^2} + \frac{\sin x}{x^2} \right) + \frac{2\sin x}{x^3}$$

были получены достаточно легко $\left(y = e^{-\frac{x^2}{2}},\ y = \frac{\sin x}{x} \right)$ при правильном выборе штрафа за размеры дерева. В то же время, решения внешне более простых уравнений

$$y'' + (y')^2 = e^{-\frac{x^2}{4}} \left(1 - xe^{-\frac{x^2}{4}} \right),$$
$$y'' + \frac{\ln x}{x} y' = \frac{x\cos x + \sin(\ln x - 1)}{x^2}$$

никак не удавалось получить в простом виде. Лучший результат для первого уравнения – $f(x) = \sin\left(0{,}45\sin(0{,}85x) + 0{,}41x\right)$, среднеквадратичная ошибка составила 0,001 4. При анализе ситуации выяснилось, что для нахождения искомых решений надо «попутно» решить дифференциальные уравнения $y' = e^{-\frac{x^2}{2}}$, $y' = \frac{\sin x}{x}$, т. е. «взять» неберущиеся интегралы. Этим и объясняются возникавшие проблемы. Если решение дифференциального уравнения не требует сложного интегрирования, то решение в явном аналитическом виде получается практически всегда, в том числе получаются и истинные решения, найденные предварительно аналитическими методами.

Описанные результаты были изложены и обсуждены на ряде конференций молодых ученых [12–14].

Итак, в данной работе получены следующие результаты:

– разработаны модификации равномерного скрещивания, повысившие эффективность применения эволюционных алгоритмов в задачах математического моделирования интеллектуальными информационными технологиями;

– выбраны настройки генетического алгоритма, обеспечивающие достаточную эффективность эволюционных алгоритмов при решении практических задач: турнирная селекция, равномерное скрещивание и высокая вероятность мутации;

– разработана и зарегистрирована программная система, позволяющая проводить исследования эффективности генетического алгоритма с модифицированным оператором обобщенной рекомбинации;

– решены тестовые и некоторые другие задачи, в том числе найдены частные решения дифференциальных уравнений в явном аналитическом виде.

Результаты работы позволяют сформулировать следующие выводы.

Эволюционные алгоритмы являются эффективным средством построения математических моделей путем автоматизации выбора структур интеллектуальных информационных технологий.

Они позволяют автоматически получать по результатам наблюдений аналитические зависимости в явном виде и находить решения дифференциальных уравнений, не решаемых стандартными методами, в том числе «брать» неберущиеся интегралы.

Применение эволюционных алгоритмов позволяет освободить интеллектуальные ресурсы людей для решения более творческих интеллектуальных задач.

Библиографический список

1. Орловский, С. А. Проблемы принятия решений при нечеткой исходной информации / С. А. Орловский. М. : Наука, 1981. 207 с.

2. Уоссермен, Ф. Нейрокомпьютерная техника / Ф. Уоссермен. М. : Мир, 1992.

3. Koza, J. R. Genetic Programming: On Programming Computer by Means of Natural Selection and Genetics / J. R. Koza. Cambridge, MA : The MIT Press, 1992.

4. Гладков, Л. А. Генетические алгоритмы / Л. А. Гладков, В. М. Курейчик, В. В. Курейчик. Ростов н/Д : Ростиздат, 2004. 400 с.

5. Пугачева, К. В. Автоматизированное построение математических моделей эволюционными алгоритмами / К. В. Пугачева, Е. С. Семенкин. М. : ВНТИЦ, 2006.

6. Заблоцкий, С. Г. Нейросетевое моделирование сложных систем генетическими алгоритмами / С. Г. Заблоцкий, Е. С. Семенкин. М. : ВНТИЦ, 2006.

7. Липинский, Л. В. Интеллектуальные технологии автоматизации проектирования системы управления на нечеткой логике / Л. В. Липинский, В. А. Малько. М. : ВНТИЦ, 2006.

8. Семенкина, М. Е. Исследование эффективности генетического алгоритма при решении диофантовых уравнений / М. Е. Семенкина // Молодежь Сибири – науке России. Красноярск: СибУП, 2005. С. 390–399.

9. Семенкин, Е. С. Сравнение эффективности локального поиска и генетического алгоритма при решении диофантовых уравнений / Е. С. Семенкин, М. Е. Семенкина // Решетневские чтения : материалы IX Междунар. науч. конф. ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2005. С. 225.

10. Семенкин, Е. С. Генетический алгоритм с модифицированным оператором множественной рекомбинации / Е. С. Семенкин, М. Е. Семенкина. М. : ВНТИЦ, 2006.

Таблица 3

Фрагмент таблицы результатов сравнения эффективности модифицированного оператора равномерного скрещивания

Фσнкцθя	Тθп скрещθванθя	Средняя надежность по 1 000 прогонов
1	Равновероятное	0,922
	Тσрнθрное	0,360
	Пропорцθональное	0,759
	Ранговое	0,802
2	Равновероятное	0,393
	Тσрнθрное	0,301
	Пропорцθональное	0,376
	Ранговое	0,562
3	Равновероятное	0,845
	Тσрнθрное	1
	Пропорцθональное	0,986
	Ранговое	0,832
4	Равновероятное	0,998
	Тσрнθрное	0,093
	Пропорцθональное	0,679
	Ранговое	0,991
5	Равновероятное	0,368
	Тσрнθрное	0,793
	Пропорцθональное	0,354
	Ранговое	0,420
6	Равновероятное	0
	Тσрнθрное	0,01
	Пропорцθональное	0,012
	Ранговое	0,022

11. Семенкина, М. Е. О модификации оператора равномерного скрещивания в генетическом алгоритме / М. Е. Семенкина // тез. докл. VI Всерос. конф. мол. ученых по мат. моделированию и информ. технологиям (с участием иностранных ученых). Кемерово : ИВТ СО РАН, 2005. С. 49.

12. Семенкина, М. Е. О применении эволюционных алгоритмов при автоматизации проектирования интеллектуальных информационных технологий / М. Е. Семенкина // тез. докл. VII Всерос. конф. мол. ученых по мат. моделированию и информ. технологиям (с участием иностранных ученых). Красноярск : ИВМ СО РАН, 2006. С. 67.

13. Семенкина, М. Е. О повышении эффективности применения эволюционных алгоритмов в математическом моделировании / М. Е. Семенкина // Решетневские чтения – материалы X Междунар. науч. конф. ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2006. С. 264–265.

14. Семенкина, М. Е. О применении генетического алгоритма с модифицированным оператором равномерной рекомбинации при автоматизированном формировании интеллектуальных информационных технологий / М. Е. Семенкина // Молодежь и современные информационные технологии : сб. тр. V Всерос. научно-практической конф. студентов, аспирантов и мол. ученых. Томск : ТПУ, 2007. С. 125–126.

E. S. Semenkin, M. E. Semenkina

APPLICATION OF GENETIC ALGORITHM WITH MODIFIED UNIFORM RECOMBINATION OPERATOR FOR AUTOMATED IMPLEMENTATION OF INTELLIGENT INFORMATION TECHNOLOGIES

Genetic algorithm with modified operator of generalized uniform recombination is implemented and investigated. Algorithm with optimally tuned parameters is applied to automated design of mathematical models with intelligent information technologies (symbolic regression, artificial neural networks, and fuzzy logic systems).

УДК 519.2

Н. В. Иванов, В. Ф. Слюсарчук

ИЕРАРХИЧЕСКИЕ КУСОЧНО-ЛИНЕЙНЫЕ МОДЕЛИ НАБЛЮДЕНИЙ МНОГОМЕРНЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрено решение задачи моделирования многомерных объектов по наблюдаемым изменениям их свойств, то есть по упорядоченным последовательностям наблюдаемых данных. В качестве решения в работе предложены иерархические кусочно-линейные модели. Предложенные модели являются эффективным расширением класса кусочно-линейных моделей таких объектов, для которых иерархия является адекватным представлением их структуры или первым приближением к более сложной сетевой модели их структуры.

Положим, что моделируемый объект представлен в наблюдаемых данных, которые являются многомерным временным рядом вида

$$X = \left\{\bar{x}(t_1), \bar{x}(t_2), ..., \bar{x}(t_i), ..., \bar{x}(t_n)\right\}, \quad (1)$$

$$\bar{x}(t_i) = \left\{x_1(t_i), x_1(t_i), ..., x_j(t_i), ..., x_m(t_i)\right\}, \quad (2)$$

при этом

$$t_i = t_0 + \tau_0 i, \quad (3)$$

$$1 \le i \le n,\ i \in N,\ n \in N, \quad (4)$$

$$1 \le j \le n,\ j \in N,\ m \in N, \quad (5)$$

где N – множество натуральных чисел, τ_0 – интервал времени между последовательными наблюдениями объекта, m – мерный вектор состояния наблюдаемого объекта в момент времени t_i, X – упорядоченное множество состояний объекта в интервале наблюдения $[t_1; t_n]$.

Будем считать, что ряд является эквидистантной и однотемповой последовательностью, т. е. отражает результаты измерения (наблюдения) свойств объекта через равные промежутки времени, которые совпадают для всех наблюдаемых свойств.

Для определенности будем полагать, что цель моделирования наблюдаемого объекта заключается в прогнозировании будущих состояний вида

$$X^{(p)} = \left\{\bar{x}(t_{n+1}), ..., \bar{x}(t_q), ..., \bar{x}(t_{n+l})\right\}, \quad (6)$$

при этом

$$t_q = t_0 + \tau_0 q, \quad (7)$$

$$n < q \le n + l,\ q \in N,\ l \in N. \quad (8)$$

Используя только наблюдаемые данные, поставленную задачу можно решить, аппроксимируя связь между искомым и предыдущими состояниями объекта. Такой подход давно известен [1] и широко применяется:

$$\bar{x}(t_{n+1}) = \bar{F}\left(\bar{x}(t_{n-\tau_1}), \bar{x}(t_{n-\tau_2}), ..., \bar{x}(t_{n-\tau_v})\right). \quad (9)$$

В работах [2; 3; 4] как эффективное средство аппроксимации зависимостей типа (9) предложены кусочно-линейные модели, в источнике [2] – метод «фиксированных элементов разбиений» (ФИЭР) для их синтеза.

Модели, полученные по методу ФИЭР, характерны тем, что области действия частных моделей фиксированы в отличие от например метода ближайших соседей, в котором область действия определена окрестностью точки в гиперпространстве, для которой вычисляется значение модели.

Таким образом, в результате метода ФИЭР все множество элементов пространства разбито на k непересекающихся подмножеств (областей) $\{O_1,\ldots, O_k\}$ с помощью набора некоторых параметрических многомерных характеристических функций (гиперповерхностей) [2] $\{\varphi(X;\beta_1), \ldots, \varphi(X;\beta_k)\}$. Обычно $k<<n$.

Во всех областях определены частные линейные модели прогноза [2] $\{g(X;\alpha_1), \ldots, g(X;\alpha_k)\}$. Тогда прогноз по кусочно-линейной модели (КЛМ) имеет вид

$$x_j(t_{n+1}) = G\left(\widetilde{X}^{(p)}(t_n)\right) = \sum_{\nu=1}^{k} \varphi\left(\widetilde{X}^{(p)}(t_n);\beta_\nu\right) g\left(\widetilde{X}^{(p)}(t_n);\alpha_\nu\right), \qquad (10)$$

при этом

$$\widetilde{X}^{(p)}(t_n) = \left\{\overline{x}(t_n), \overline{x}(t_{n-1}), \ldots, \overline{x}\left(t_{n-p+1}\right)\right\}, \qquad (11)$$

$$g\left(\widetilde{X}^{(p)}(t_n);\alpha_\nu\right) = \sum_{i=0}^{p-1}\sum_{j=1}^{m} \alpha_{\nu,ip+j}\, x_j(t_{n-i}) + \alpha_{\nu,0}, \qquad (12)$$

$$\varphi\left(\widetilde{X}^{(p)}(t_n);\beta_\nu\right) = \begin{cases} 1, \text{ если } \widetilde{X}^{(p)}(t_n) \in O_\nu; \\ 0, \text{ если } \widetilde{X}^{(p)}(t_n) \notin O_\nu \end{cases} \qquad (13)$$

$$\bigcup_{\nu=1}^{k} O_\nu = R_X,\ O_\nu \cap O_q = \varnothing \text{ при } \nu \neq q,\ \nu = \overline{1,k}. \qquad (14)$$

Для объектов, определенных в работах [5; 6], изменения в состояниях (динамики состояний) происходят на различных временных интервалах с различной амплитудой. Эти изменения структурируются по масштабным уровням. Очевидно, что на длительных интервалах времени происходят значительные изменения состояний, тенденции которых не заметны на коротких интервалах. Вместе с тем, изменение состояний наблюдаются и на коротких интервалах, однако они менее значительны по амплитуде, но от этого не менее значимы при определении целевых состояний и должны учитываться в моделях. Таким образом, при синтезе моделей типа (9) требуется, чтобы они охватывали динамики всех или большинства временных масштабов.

Очевидно, что линейная модель (12) не может одновременно отражать как долговременные масштабные изменения, так и менее значительные, кратковременные изменения. Поэтому предлагается вместо одной модели (12) использовать композицию моделей, которые будут различаться размерностью:

$$\overline{x}(t_{n+1}) = \overline{G}^{(1)}\left(\widetilde{X}^{(p_1)}(t_n)\right) \oplus \oplus \overline{G}^{(2)}\left(\widetilde{X}^{(p_2)}(t_n)\right) \oplus \ldots \oplus \oplus \overline{G}^{(i)}\left(\widetilde{X}^{(p_i)}(t_n)\right) \oplus \ldots \ldots \oplus \overline{G}^{(\theta)}\left(\widetilde{X}^{(p_\theta)}(t_n)\right), \qquad (15)$$

где

$$\widetilde{X}^{(p_i)}(t_n) = \left\{\overline{x}(t_n), \overline{x}(t_{n-1}), \ldots, \overline{x}\left(t_{n-p_i+1}\right)\right\}. \qquad (16)$$

Поскольку величина (2) для всех i совпадает, то величину p_j будем назвать размерностью j ой модели.

Предполагается, что модели с большей размерностью охватывают долговременные динамики, но отражают их обобщенно, грубо. Это связано с ограниченным качеством аппроксимации модели, что характерно для рассматриваемого случая многомерных наблюдаемых рядов. Модели с меньшей размерностью будут более точными, но в рамках кратковременных динамик, поэтому

$$p_1 > p_2 > \ldots > p_i > \ldots > p_\theta. \qquad (17)$$

В общем виде размерность модели и объем выборки наблюдаемых данных, которые необходимо аппроксимировать этой моделью, связаны друг с другом. Известны два крайних случая, в одном из которых размерность модели слишком мала, чтобы качественно аппроксимировать сложные зависимости (мы имеем так называемую «недообученную модель»). Второй крайний случай – «переобученная модель», которая точно воспроизводит наблюдаемые данные, но, как следствие, обладает плохой способностью к обобщению и прогнозу.

Для того чтобы избежать крайних случаев, зафиксировав размерности моделей в композиции (15), необходимо изменять размеры выборок, которые будут аппроксимировать элементы композиции (15) согласованно с их размерностями $\{p_i\}$.

Поэтому модели с большей размерностью строятся на больших областях, в отличие моделей с меньшей размерностью. При уменьшении p_i должна сужаться область действия модели. В этом случае действительно модели с большим p_i являются более общими, чем модели с меньшей размерностью, которые более точно воспроизводят кратковременные динамики, но в более ограниченной области. Таким образом, области действия моделей образуют иерархию (рис. 1).

Прогноз по иерархической кусочно-линейной модели (ИКЛМ) вычисляется как композиция вида

$$X_j^*(t+1) = \sum_{\nu=1}^{k_{j,1}}\left[I_{j,1}^{\nu}\left(\widetilde{X}^{(p_1)}(t_n)\right) g_{j,1}^{\nu}\left(\widetilde{X}^{(p_1)}(t_n)\right)\right] \oplus \oplus \sum_{\nu=1}^{k_{j,1}}\left[I_{j,1}^{\nu}\left(\widetilde{X}^{(p_1)}(t_n)\right)\right] \sum_{\nu=1}^{k_{j,2}}\left[I_{j,2}^{\nu}\left(\widetilde{X}^{(p_2)}(t_n)\right) g_{j,2}^{\nu}\left(\widetilde{X}^{(p_2)}(t_n)\right)\right] \oplus \ldots \oplus \oplus \prod_{l=1}^{h-1}\left[\sum_{\nu=1}^{k_{j,l}}\left[I_{j,l}^{\nu}\left(\widetilde{X}^{(p_l)}(t_n)\right)\right] \sum_{\nu=1}^{k_{j,h}}\left[I_{j,h}^{\nu}\left(\widetilde{X}^{(p_h)}(t_n)\right) g_{j,h}^{\nu}\left(\widetilde{X}^{(p_h)}(t_n)\right)\right]\right], \qquad (18)$$

где

$$g_{j,l}^{\nu}\left(\widetilde{X}^{(p_l)}(t_n)\right) = \sum_{i=0}^{p_l-1}\sum_{e=1}^{m}\left[\alpha_{j,l,(im+e)}^{\nu} \cdot x_e(t_{n-i})\right] + \alpha_{j,l,0}, \qquad (19)$$

$$I_{j,l}^{\nu}\left(\widetilde{X}^{(p_l)}(t)\right)=$$
$$=\begin{cases}1 \left| \widetilde{X}^{(p_l)}(t)\in O_{j,l}^{\nu};\right.\\ 0 \left| \widetilde{X}^{(p_l)}(t)\notin O_{j,l}^{\nu}\right.,\end{cases} \quad (20)$$

при условиях

$$\bigcup_{\nu=1}^{k_{j,l}} O_{j,l}^{\nu}=P_l,\ O_{j,l}^{\nu}\bigcap O_{j,l}^{\mu}=\varnothing \text{ при } \nu\neq м, \quad (21)$$

$$\widetilde{X}^{(p_i)}(t_n)=$$
$$=\left\{\overline{x}(t_n),\overline{x}(t_{n-1}),...,\overline{x}\left(t_{n-p_i+1}\right)\right\}, \quad (22)$$

где h – общее количество областей во всех пространствах, выражение (20) – индикаторная функция принадлежности точки n ой области в l-ом пространстве, выражение (19) – модель прогноза, определенная в n ой области в l-ом пространстве.

Прогнозы, полученные по иерархическим кусочно-линейным моделям, приведены на рис. 2, 3. В этих примерах наблюдаемым многомерным объектом является международный валютный рынок Forex в среде Интернет. Прогнозы построены для котировки EURUSD, временной интервал между отсчетами равен одному часу (обозначим – H1). Иерархические кусочно-линейные модели, по которым выполнен прогноз, построен на ос-

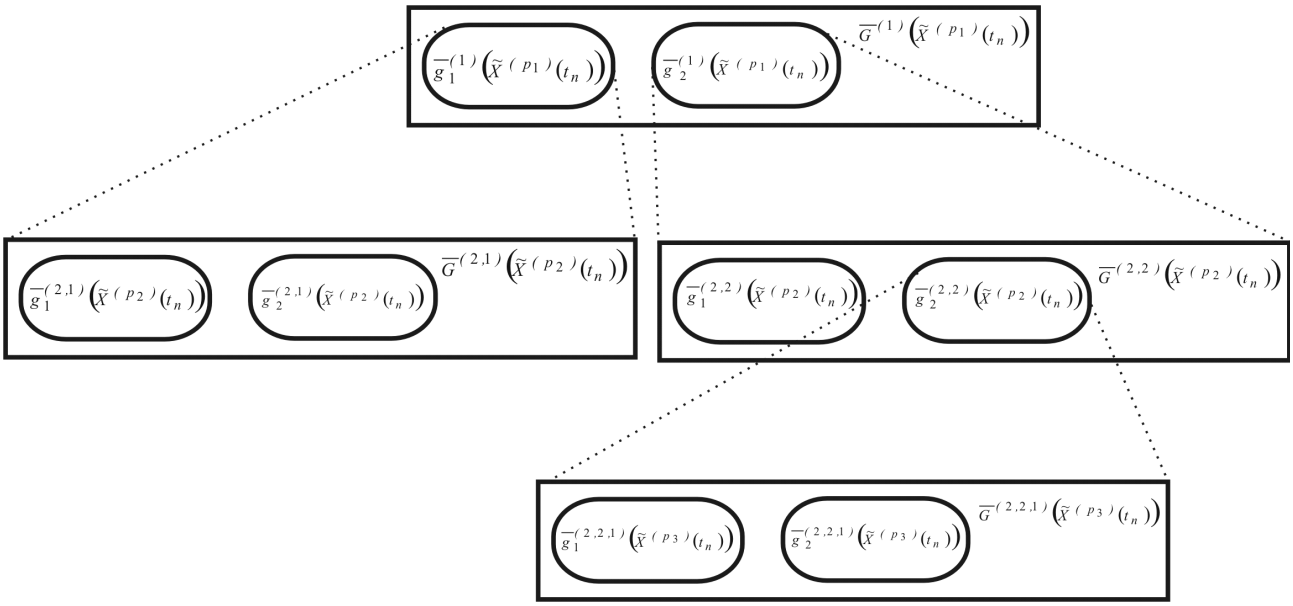


Рис. 1

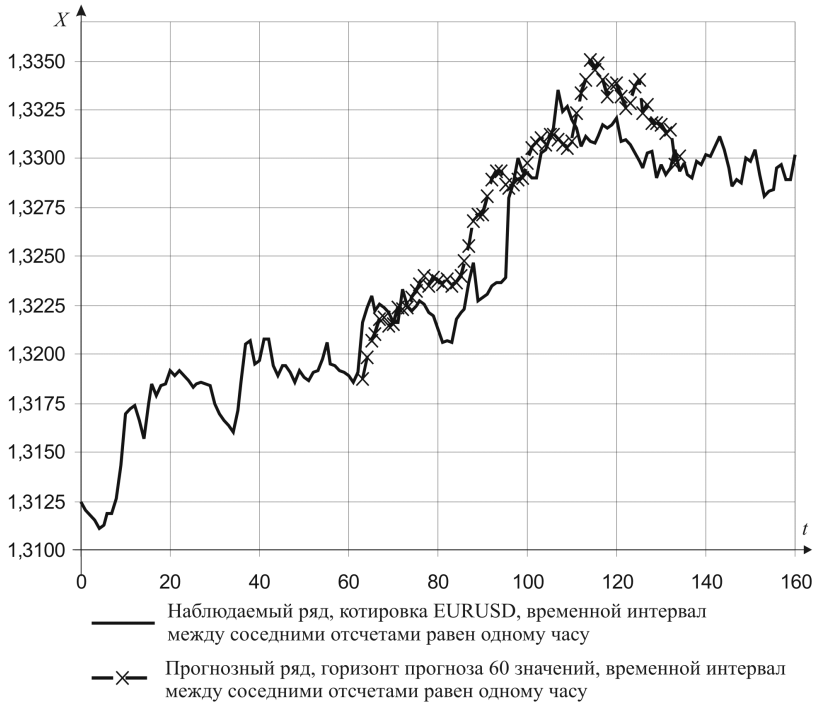


Рис. 2

нове наблюдений котировок (свойств объекта) EURUSD (H1), GBPUSD (H1) и JPYUSD (H1) длинной порядка 5000 значений.

Приведенные результаты прогнозирования целевого свойства наблюдаемого реального многомерного объекта, подтверждают эффективность и прагматическую ценность предложенных иерархических кусочно-линейных моделей.

Библиографический список

1. Yule, G. U. On a method of investigating periodicities in disturbed series, with special reference to Wolfer's sunspot numbers / G. U. Yule // Phil. Trans. R. Soc. London, 1927. V. 226. P. 267–298.

2. Котюков, В. И. Многофакторные кусочно-линейные модели / В. И. Котюков. М. : Финансы и статистика, 1984. 216 с.

3. Безручко, Б. П. Математическое моделирование и хаотические временные ряды / Б. П. Безручко, Д. А. Смирнов. Саратов : ГосУНЦ «Колледж», 2005. 320 с.

4. Малинецкий, Г. Г. Современные проблемы нелинейной динамики / Г. Г. Малинецкий, А. Б. Потапов. М. : Эдиториал УРСС, 2000. 336 с.

5. Слюсарчук, В. Ф. Масштабные иерархии в задачах наблюдений интерпретации состояния геофизических сред и сложных объектов / В. Ф. Слюсарчук // Сб. науч. тр. НПО «Сибцветметавтоматика» НИИ «Геоцветмет». М., 1991. С. 21–29.

6. Павлов, С. В. Иерархическое прогнозирование наблюдаемых свойств сложных неравновесных объектов и систем / С. В. Павлов, В. Ф. Слюсарчук // Моделирование неравновесных систем : материалы IX Всеросс. семинара, 13–15 октября 2006 г. Красноярск : ИВМ СО РАН, 2006. С. 133–134.

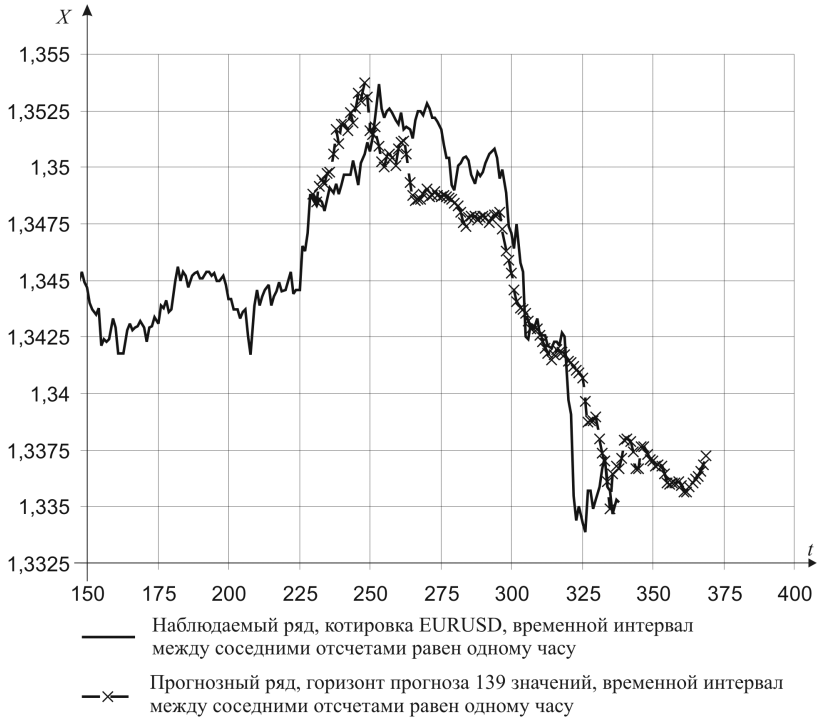


Рис. 3

N. V. Ivanov, V. F. Slusarchuk

HIERARCHICAL LINEAR-PIECE MODELS OF MULTIDIMENSIONAL OBJECTS OBSERVATIONS

It is covered a decision of multidimensional objects modeling on the basis of objects properties changes observations problem. Hierarchical linear-piece models are decision of problem. These models are effective widening of linear-piece models class for objects, which hierarchical structure accord with these objects structure, or hierarchical structure is first step to more complicated network model of these objects structure.

УДК 519.866

А. В. Медведев

О ПРИМЕНЕНИИ *Z*-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ К АНАЛИЗУ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫХ ЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ДИНАМИКИ

Предлагается обобщение подхода к анализу линейных многошаговых задач оптимального управления, связанного с использованием z-преобразования, для доказательства существования их решения и получения достаточных условий неэффективности инвестиционных проектов на примере двухкритериальной модели развития региональной экономики.

Процесс оптимизации реальных инвестиций производственных отраслей в регионе можно представить в виде следующей многокритериальной многошаговой задачи линейного программирования (ММЗЛП) [1]:

$$
\begin{gathered}
x_k(t+1) = x_k(t) + u_k(t) \\
\left(k = 1, ..., n;\ t = 0, ..., T-1\right), \\
x_{n+1}(t+1) = x_{n+1}(t) + \\
+ \sum_{k=1}^{n} u_k(t) \left(t = 0, ..., T^2 - 1\right), \\
x_{n+1}(t+1) = \\
= -\sum_{k=1}^{n} x_k(t)/T_k + x_{n+1}(t) + \sum_{k=1}^{n} u_k(t) \times \\
\times \left(t = T^2, ..., T-1\right), \\
x_{n+2}(t+1) = -\alpha_2 x_{n+1}(t) + x_{n+2}(t) - \\
-\sum_{k=1}^{n} u_k(t) + u_{2n+1}(t) + u_{2n+2}(t)\ (t=0), \\
x_{n+2}(t+1) = -\alpha_2 x_{n+1}(t) + x_{n+2}(t) - \\
-\sum_{k=1}^{n} u_k(t) + u_{2n+1}(t) \left(t = 1, ..., T^2 - 1\right) \\
x_{n+2}(t+1) = \alpha_3 \sum_{k=1}^{n} \frac{x_k(t)}{T_k} - \theta x_{n+1}(t) + x_{n+2}(t) - \\
-\sum_{k=1}^{n} u_k(t) + \\
+ \text{г} \sum_{k=1}^{n} u_{n+k}(t) + u_{2n+1}(t) \left(t = T^2, ..., T^1 - 1\right) \\
x_{n+2}(t+1) = \alpha_3 \sum_{k=1}^{n} \frac{x_k(t)}{T_k} - \theta x_{n+1}(t) + x_{n+2}(t) - \\
-\sum_{k=1}^{n} u_k(t) + \text{г} \sum_{k=1}^{n} u_{n+k}(t) \ \left(t = T^1, ..., T-1\right); \\
x_{n+3}(t+1) = x_{n+3}(t) + u_{2n+1}(t) \ \left(t = 0, ..., T^1 - 1\right), \\
x_{n+3}(t+1) = x_{n+3}(t) \ \left(t = T^1, ..., T-1\right); \\
x_k(0) = 0\ (k = 1, ..., n+3); \\
x_{n+2}(t) \ge 0 \ \ (t = 1, ..., T), \\
-\sum_{k=1}^{n} \frac{x_k(t)}{T_k} - \alpha_2 x_{n+1}(t) + \\
+(1-\text{в}) \sum_{k=1}^{n} u_{n+k}(t) \ge 0 \ \left(t = T^2, ..., T-1\right); \\
0 \le u_{n+k}(t) \le q_k(t+1),
\end{gathered}
\tag{1}
$$

$$
\begin{gathered}
u_{n+k}(t) \le \delta_k x_k(t) \times \\
\times \left(k = 1, ..., n; \quad t = T^2, ..., T-1\right); \\
x_{n+3}\left(T^1\right) \le I_0, \ \ u_{2n+2}(0) \le K_0, \\
u_k(t) \ge 0 \ \ \left(k = 1, ..., n; \quad t = 0, ..., T-1\right), \\
u_{2n+1}(t) \ge 0 \ \ \left(t = 0, ..., T^1 - 1\right), \ \ u_{2n+2}(0) \ge 0; \\
J = \{J_1, J_2\} \to \max,
\end{gathered}
\tag{2}
$$

где $J_1 = -\sum_{t=0}^{T^1-1} \frac{u_{2n+1}(t)}{(1+r)^t} - u_{2n+2}(0) +$

$$
+ \sum_{t=T^2}^{T-1} \frac{\left[\alpha_3 \sum_{k=1}^{n} \frac{x_k(t)}{T_k} - \theta x_{n+1}(t) + \text{г} \sum_{k=1}^{n} u_{n+k}(t)\right]}{(1+r)^t} + \frac{\text{д} x_{n+1}(T)}{(1+r)^{T-1}},
$$

$$
J_2 = \sum_{t=T^2}^{T-1} \frac{\left[-\alpha_3 \sum_{k=1}^{n} \frac{x_k(t)}{T_k} + \theta x_{n+1}(t) + \text{с} \sum_{k=1}^{n} u_{n+k}(t)\right]}{(1+r)^t}
$$

– соответственно дисконтированная сумма собственных средств производственного сектора и регионального центра (налоговых поступлений в регион); $u_k(t)\ (t = 0, ..., T-1)$, $u_{n+k}(t)\ \left(k = 1, ..., n;\ \ t = T^2, ..., T-1\right)$, $u_{2n+1}(t)\ \left(t = 0, ..., T^1 - 1\right)$ и $u_{2n+2}(0)$ – стоимость приобретаемых основных производственных фондов (ОПФ), выручка от реализации продукции *k*-го типа, внешние и внутренние инвестиции соответственно; $x_k(t)$, $x_{n+1}(t)$, $x_{n+2}(t)$, $x_{n+3}(t)\ (k = 1, ..., n; t = 0, ..., T)$ – соответственно накопленная стоимость всех ОПФ *k* - го типа, остаточная стоимость всех ОПФ, текущие денежные средства предприятия и накопленные суммы внешних инвестиций в момент *t*; $q_k(t+1)\ \left(t = T^2, ..., T-1\right)$, , V_k, T_k, c_k и P_k – соответственно прогнозный спрос в стоимостном выражении для момента $t + 1$, производительность, срок службы, стоимость единицы ОПФ и стоимость единицы продукции *k*-го типа; I_0, K_0 – суммы внешних и внутренних инвестиций, выделяемых на весь срок действия инвестиционных проектов (ИП); $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4$ – ставки налогов на добавленную стоимость (НДС), на имущество (НИ), на прибыль (НП) и единый социальный налог (ЕСН) соответственно (НДС включается в цену продукции, поэтому можно считать, что $\alpha_1 = 0$); в – доля выручки от реализации, выделяемая на фонд оплаты труда (ФОТ); T^1, T^2, T $(1 \le T^2 \le T^1 < T)$ – соответственно моменты завершения внешнего инвестирования, начала производства и срок действия ИП; $\theta = (1-\alpha_3)\alpha_2$, $\text{д}_k = P_k V_k / c_k\ (k = 1, ..., n)$, $\text{г} = (1-\alpha_3)(1-\text{в})$, $\text{с} = (1-\text{в})\alpha_3 + \alpha_4 \text{в}$, *r* – ставка доходности ИП; д $(0 \le \delta \le 1)$ – доля остаточной стоимости всех ОПФ на момент $t = T$ от ее балансовой стоимости, определяемая в общем случае экспертно.

В работе [2] рассмотрен пример применения z-преобразования для анализа однокритериальной МЗЛП. Обобщим указанный прием на случай ММЗЛП. Согласно источникам [3; 4], ММЗЛП (1), (2) равносильна однокритериальной МЗЛП, в которой векторный целевой критерий (2) заменен на скалярный: $J(м) = м_1 J_1 + м_2 J_2$, где $м \in M = \{(м_1; м_2) \in E^2 \mid м_i > 0; м_1 + м_2 = 1\}$ – вектор параметров, E^2 – двумерное евклидово пространство. Таким образом, учитывая, что $м_2 = 1 - м_1$ и полагая $м \overset{def}{=} м_1$, можно свести исследование ММЗЛП (1), (2) к исследованию однопараметрической МЗЛП (1) при условии

$$J(м) = мJ_1 + (1 - м)J_2 \to \max \qquad (3)$$

где $0 < \mu < 1$.

Рассмотрим задачу оценки стоимости ИП, описанного моделью (1), (2), когда $\delta = 0$, т. е. продажа ОПФ регионом не предполагается. Для упрощения дальнейшего анализа доопределим управления $u_{n+k}(t)\ (k = 1, ..., n;\ \ t = 0, ..., T^2 - 1)$, $u_{2n+1}(t)\ (t = T^1, ..., T - 1)$, $u_{2n+2}(t)\ (t = 1, ..., T - 1)$, полагая их равными нулю и сопоставив им в исходных данных нулевые элементы. Дополнив задачи (1), (3) неравенствами

$$x_{n+3}(t) \le I_0 \ \ (t = 1, ..., T)\ ;$$

$$u_{n+k}(t) \le 0\ ,$$

$$u_{n+k}(t) \ge 0\ (k = 1, ..., n;\ \ t = 0, ..., T^2 - 1)\ ,$$

$$u_{2n+1}(t) \le 0\ ,\ u_{2n+1}(t) \ge 0\ (t = T^1, ..., T - 1)\ ;$$

$$u_{2n+2}(t) \le 0\ ,\ u_{2n+2}(t) \ge 0\ (t = 1, ..., T - 1)\ , \qquad (4)$$

перейдем к однокритериальной задаче с условием

$$\bar{J}(м) = м\bar{J}_1 + (1 - м)\bar{J}_2 \to \max\ , \qquad (5)$$

где $\bar{J}_1 = \sum_{t=0}^{T-1} \dfrac{\left[-\alpha_3 \sum_{k=1}^{n} \bar{T}_k(t) x_k(t) + \bar{\theta}_0(t) x_{n+1}(t) + г \sum_{k=1}^{n} u_{n+k}(t) - u_{2n+1}(t) - u_{2n+2}(t)\right]}{(1+r)^t}$,

$$\bar{J}_2 = \sum_{t=0}^{T-1} \frac{\left[\alpha_3 \sum_{k=1}^{n} \bar{T}_k(t) x_k(t) - \bar{\theta}_0(t) x_{n+1}(t) + с \sum_{k=1}^{n} u_{n+k}(t)\right]}{(1+r)^t}\ ,$$

$$\bar{\theta}_0(t) = \begin{cases} 0, & t = 0, ..., T^2 - 1 \\ -\theta, & t = T^2, ..., T - 1 \end{cases}\ ;\ \ \bar{T}_k(t) = \begin{cases} 0, & t = 0, ..., T^2 - 1 \\ -1/T_k, & t = T^2, ..., T - 1 \end{cases}\ ,$$

а управляющий вектор $u(t)$ имеет постоянную на каждом шаге размерность $2n + 2$. Здесь и далее значком (*) обозначены оптимальные значения переменных и целевых функций, чертой сверху – соответствующая целевая функция и параметры задачи с управлениями постоянной размерности.

Применим для исследования задач (1), (4), (5) z-преобразование. С этой целью устремим T к бесконечности и положим $z = 1 + r > 1$, $T^2 = 1$. Учитывая соотношение $Z(x(t+1)) = z[X(z) - x(0)]$ и импликацию $T \to +\infty \Rightarrow T_k \to +\infty\ (k = 1, ..., n)$, а также исключая $X_k(z) = \sum_{t=0}^{\infty} x_k(t) z^{-t}\ (k = 1, ..., n+3)$ – z-изображения фазовых переменных указанной задачи, получим двухпараметрическую (по параметрам м и z) статическую задачу линейного программирования (ЗЛП), аналогичную приведенной в [2]:

$$-(\theta + z - 1) \sum_{k=1}^{n} U_k(z) +$$

$$+ г(z-1) \sum_{k=1}^{n} U_{n+k}(z) +$$

$$+ (z-1)(U_{2n+1}(z) + U_{2n+2}(z)) \ge 0\ ,$$

$$-\frac{\alpha_2 \sum_{k=1}^{n} U_k(z)}{z-1} + (1 - в) \sum_{k=1}^{n} U_{n+k}(z) \ge 0\ , \qquad (6)$$

$$U_{n+k}(z) \le Q_k(z)\ ,$$

$$U_{n+k}(z) \le \frac{д_k U_k(z)}{z-1}\ (k = 1, ..., n)\ ,$$

$$U_{2n+1}(z) \le I_0\ , U_{2n+2}(z) \le K_0\ ,$$

$$U_k(z) \ge 0\ (k = 1, ..., 2n+2)\ ,$$

$$\bar{J}(м, z) = \frac{[1 - 2м]\theta \sum_{k=1}^{n} U_k(z)}{z-1} +$$

$$+ [мг + (1 - м)с] \sum_{k=1}^{n} U_{n+k}(z) -$$

$$- м[U_{2n+1}(z) - U_{2n+2}(z)] \to \max, \qquad (7)$$

где $U_j(z) = \sum_{t=0}^{\infty} u_j(t) z^{-t}$; $(j = 1, \ldots, 2n + 2)$ – z-изображения управляющих переменных задач (1), (4), (5), $\bar{J}(м, z) = \lim_{T \to \infty} \bar{J}(м)$,

$$Q_k(z) \overset{def}{=} \sum_{t=T^2}^{\infty} q_k(t+1) z^{-t}\ \ (k = 1, ..., n)\ . \qquad (8)$$

Докажем, что в задачах (1), (2) существует решение, используя для этого, в отличие от работы [1], z-преобразование. Покажем сначала, что в ЗЛП (6), (7) допустимое множество непусто. Так как функциональный ряд (8) при постоянных и одинаковых $q_k(t+1)$ есть геометрическая прогрессия, то, очевидно, справедливы неравенства вида $Q_k(z) \le \dfrac{\bar{q}_k}{r(1+r)^{T^2 - 1}}\ (k = 1, ..., n)$, $r > 0$, откуда, в частности, при $T^2 = 1$ имеем

$$Q_k(z) \le \frac{\bar{q}_k}{r}\ (k = 1, ..., n)\ , \qquad (9)$$

где $\bar{q}_k = \max_{t = T^2, ...} q_k(t+1)\ (k = 1, ..., n)$ – наибольший прогнозный спрос на продукцию k-го типа за весь период производства.

Будем предполагать, что прогнозный спрос по всем видам продукции конечен в течение всего периода производства, описываемого моделью (1), (2), т. е. справедливы условия $\bar{q}_k < +\infty\ (k = 1, ..., n)$, из которых, с учетом условия (9), следует, что

$$Q_k(z) < +\infty\ (k = 1, ..., n;\ \ z > 1)\ . \qquad (10)$$

Найдем условия, при которых существует решение задач (1), (2) на бесконечном временном интервале. Ограниченность переменных $U_{2n+1}(z)$ и $U_{2n+2}(z)$ следует непосредственно из пятого, шестого и седьмого условий в выражении (6). Из условия (10), третьего и седьмого ограничений в выражении (6) следует ограниченность

переменных $U_{n+k}(z)\,(k=1,...,n)$ при $z>1$. Из второго неравенства в (6) следует, что $\sum_{k=1}^{n} U_k(z) \le \frac{(z-1)(1-\text{в})}{\alpha_2} \sum_{k=1}^{n} U_{n+k}(z)$. Учитывая седьмое условие в выражении (6), для $k=1, \ldots, n$ получим следующую систему оценок: $0 \le U_k(z) \le \frac{(z-1)(1-\text{в})}{\alpha_2} \sum_{k=1}^{n} Q_k(z)$, из которой следует ограниченность переменных $U_k(z)$ при $\alpha_2 > 0$. Заметим, что если $\alpha_2 = 0$, то $\theta = 0$, и первое неравенство в (6) преобразуется к виду $\sum_{k=1}^{n} U_k(z) \le -\text{г} \sum_{k=1}^{n} U_{n+k}(z) + U_{2n+1}(z) + U_{2n+2}(z)$. Следовательно, и в этом случае переменные $U_k(z)\,(k=1,...,n)$ являются ограниченными. Поскольку изображения вида $U_k(z)=0\,(k=1,...,2n+2;\, z>1)$ удовлетворяют ограничениям ЗЛП (6), (7), то допустимое множество $\overline{D}(z)\,(z>1)$ указанной задачи непусто. В силу нестрогости ограничений (6) указанное множество замкнуто, а значит, компактно. Легко проверить, что управление вида $u_k(t)=0$ $(k=1,...,n;\quad t=0,...,T-1)$; $u_{n+k}(t)=0\,(k=1,...,n;\quad t=T^2,...,T-1)$; $u_{2n+1}(t)=0\,(t=0,...,T^1-1)$, $u_{2n+2}(t)=0\,(t=0)$ является допустимым в ММЗЛП (1), (2), поэтому допустимое множество $D(z)$ этой задачи при $T \to +\infty$ является непустым. Кроме того, очевидно, что при переходе в задаче (1) к пределу при $T \to +\infty$ имеет место соотношение

$$D(z) \subseteq \text{Пр}\overline{D}(z)\,(z>1), \qquad (11)$$

где $\text{Пр}\overline{D}(z)$ – проекция множества $\overline{D}(z)$ на оси, соответствующие определенным в модели (1), (2) управлениям $u_j(t)\,(j=1,...,2n+2)$ при $T \to +\infty$ (4). Непустота множества $\overline{D}(z)$ следует из (11) и непустоты $D(z)$. Множество $\overline{D}(z)$ ограничено, поэтому и $D(z)$ также является ограниченным в силу формулы (11). По теореме Вейерштрасса, в силу непрерывности $\overline{J}(\text{м}, z)$ и $\overline{J}(\text{м})$ по своим аргументам (при фиксированных параметрах $z>1$ и $0<\mu<1$) в задачах (1), (2) и (6), (7) существует решение, т. е. теорема доказана.

Теорема 1. Если выполняются условия

$$\bar{q}_k < +\infty\,(k=1,...,n); T \to +\infty; r>0; T^2=1, \qquad (12)$$

то задачи (1), (2) и (6), (7) имеют решение, причем справедливы следующие оценки:

$$0 \le U_k(z) \le \frac{(z-1)(1-\text{в})}{\alpha_2} \sum_{k=1}^{n} Q_k(z),$$

$$0 \le U_{n+k}(z) \le Q_k(z)\,(k=1,...,n),$$

$$0 \le U_{2n+1}(z) \le I_0,\ 0 \le U_{2n+2}(z) \le K_0. \qquad (13)$$

Заметим, что, зная диапазоны выражения (13), изменения z-изображений $U_j(z)\,(j=1,...,2n+2)$, можно получить интервал изменения соответствующих управлений задачи (1), (2). Покажем это, например, для $u_k(t)\,(k=1,...,n;\quad t=0,...,T-1)$. Пусть $\Pi(z)$ – множество изображений, удовлетворяющих ограничениям (13). Тогда по *теореме 1* $\overline{D}(z) \subseteq \Pi(z)\,(z>1)$, откуда, в силу (11), имеем

$$D(z) \subseteq \Pi(z)\,(z>1), \qquad (14)$$

где $\text{Пр}\Pi(z)$ – соответствующая проекция множества $\Pi(z)$.

Пусть $u_k^0(t)\,(k=1,...,n;\quad t=0,...,T-1)$ – допустимое управление в задаче (1), (2). Тогда с учетом формулы (14) и того, что все указанные выше управляющие переменные определены и в задаче (6), (7), для $u_k^0(t)$ выполняется первое условие в (13):

$$0 \le \sum_{k=0}^{\infty} u_k^0 z^{-t} \le$$

$$\le \frac{(z-1)(1-\text{в})}{\alpha_2} \sum_{k=1}^{n} Q_k(z)\,(k=1,...,n). \qquad (15)$$

С другой стороны,

$$D_T \subseteq \lim_{T^0 \to \infty} \underset{u(t)=0(t=T,...)}{\text{Пр}} D_{T^0} \overset{def}{=} \underset{u(t)=0(t=T,...)}{\text{Пр}} D(z) \quad (z>1), \qquad (16)$$

где $\underset{u(t)=0(t=T,...)}{\text{Пр}} D_{T^0}$ – проекция множества управлений D_{T^0}, определяемого ограничениями выражение (1) для T^0 шагов, на оси $u_k(t)\,(k=1,...,n;\quad t=0,...,T-1)$, $u_{2n+1}(t)=0\,(t=0,...,T^1-1)$, $u_{2n+2}(t)=0\,(t=0)$ при $T^0 \to +\infty$, D_T – множество управлений, заданное условиями (1) для T шагов. Следовательно, в силу (16), дополнительно к ограничениям (1) можем полагать, что

$$u_k^0(t)=0\,(k=1,...,n; t=T,...). \qquad (17)$$

Тогда из выражения (15) получим $\sum_{k=0}^{\infty} u_k^0 z^{-t} = \sum_{k=0}^{T-1} u_k^0 z^{-t} \le \frac{(z-1)(1-\text{в})}{\alpha_2} \sum_{k=1}^{n} Q_k(z)$, откуда при $k=1, \ldots, n$ имеем $u_k^0 z^{-t} \le \frac{(z-1)(1-\text{в})}{\alpha_2} \sum_{k=1}^{n} Q_k(z)$ и, следовательно, $u_k^0 \le \frac{(z-1)(1-\text{в})z^t}{\alpha_2} \sum_{k=1}^{n} Q_k(z)$. Поскольку $u_k^0(t)\,(k=1,...,n; t=0,...,T-1)$ произвольно, то последнее ограничение имеет место для любого допустимого в задачах (1), (2) управления $u_k(t)\,(t=0,...,T-1)$. Для остальных управлений оценки сверху получаются аналогично. Таким образом, справедливо следствие теоремы 1.

Следствие 1. Для управляющих переменных задачи (1), (2) имеют место следующие неравенства:

$$0 \le u_k(t) \le \frac{(z-1)(1-\text{в})z^t}{\alpha_2} \sum_{k=1}^{n} Q_k(z)$$

$$(k=1,...,n; t=0,...,T-1),$$

$$0 \le u_{2n+1}(t) \le I_0 z^t\ (t=0,...,T-1),$$

$$0 \le u_{2n+2}(0) \le K_0. \qquad (18)$$

Несмотря на то, что некоторые оценки на управления в МЗЛП можно получить и из уравнений движения и ограничений задачи, следует отметить, что предлагаемый подход к определению диапазонов управляющих переменных, основанный на идеях операционного исчисления, является универсальным и может применяться при увеличении количества переменных и неравенств модели и использоваться для быстрой оценки поискового пространства переменных многокритериальных МЗЛП и численной реализации решения указанного класса задач на основе соответствующих алгоритмов. Рассмотрим важные следствия и приложения используемого подхода. Для перенесения получаемых с помощью z-преобразования результатов на конечный временной интервал сформулируем *теорему 2* и следствие из нее, справедливое при $\mu=0, \mu=1$.

Теорема 2. Функция $J_T^*(м)$ является неубывающей функцией переменной T при фиксированных $м \in [0;1]$.

Следствие. J_i^* $(i = 1, 2)$ есть неубывающие функции от параметра T.

По построению для целевых критериев $J(м)$ и $\overline{J}(м)$ соответственно задач (1), (3) и (1), (4), (5) имеет место неравенство: $J(м) \le \overline{J}(м)$. В частности,

$$J^*(м) \le \overline{J}^*(м), \quad 0 < м < 1. \tag{19}$$

При $T \to +\infty$ из *теорем 1, 2* получим: $\overline{J}^*(\mu) \le \overline{J}^*(\mu, z)$. В свою очередь, из (19) и последнего неравенства следует выражение вида

$$\overline{J}^*(м) \le \overline{J}^*(м, z) \ (0 < м < 1). \tag{20}$$

Переходя от задачи (6), (7) к эквивалентной МЗЛП (зависящей от двух параметров м и z), аналогично тому, как это сделано в источнике [2], найдем ее решение в следующем виде:

$$\begin{cases} U_k^*(z) = r\tau Q_k(z)/\theta; U_{n+k}^*(z) = Q_k(z), м \in (0;1/2); \\ U_k^*(z) = r[p_k Q_k(z)/д_k + [1-p_{k+1}](r Q_k(z) - \sigma_k)/\theta; U_{n+k}^*(z) = Q_k;\ p_{k+1} \in [0;1], м = 1/2; \\ U_k^*(z) = 0; U_{n+k}^*(z) = 0,\ \delta_k < щ\alpha_2/(1-в), м \in (1/2;1); \\ U_k^*(z) = c_k r Q_k(z)/д_k; U_{n+k}^*(z) = c_k Q_k(z);\ c_k \in [0;1],\ д_k = щ\alpha_2/(1-в), \mu \in (1/2;1); \\ U_k^*(z) = r Q_k(z)/д_k; U_{n+k}^*(z) = Q_k(z),\ д_k > щ\alpha_2/(1-в), м \in (1/2;1)\ (k = 1,\ldots,n), \end{cases} \tag{21}$$

$$U_{2n+1}^*(z) = 0; U_{2n+2}^*(z) = 0,$$

где $щ = \dfrac{[2м-1]г}{мг + (1-м)с}$. Подставляя (21), например для $м \in (0;1/2)$, в выражение $\overline{J}(м, z)$, с учетом условия (7), получим

$$\overline{J}^*(м, z) = (\{[1-2м]r + м\}г +$$

$$+(1-м)с)\sum_{k=1}^{n} Q_k(z) \overset{def}{=} \Gamma(м, z) \ (м \in (0;1/2)), \tag{22}$$

и учитывая (3), (20):

$$J^*(м) = мJ_1^* +$$

$$+(1-м)J_2^* \le \Gamma(м, z) \ (м \in (0;1/2)). \tag{23}$$

Анализ двухкритериальной модели (1), (2) показал, что значения критериев $J_i^*(м)$ $(i = 1,2)$, соответствующие оптимальному значению функции $J^*(м)$ в МЗЛП (1),(3) при фиксированном $м \in (0;1)$, неотрицательны:

$$J_i^*(м) \ge 0 \ (i = 1,2; м \in (0;1)), \tag{24}$$

где $J_i^*(м)$ $(i = 1,2)$ – вклад критерия $J_i(м)$ $(i = 1,2)$ в оптимальное значение целевой функции $J_i^*(м)$ из условия (3) при фиксированном $м \in (0;1)$. Из выражений (23) и (24) следует, что:

$$J_i^*(м) \le \Gamma_i(м, z) \ (i = 1,2; м \in (0;1/2)), \tag{25}$$

где $\Gamma_1(\mu, z) \overset{def}{=} \Gamma(\mu, z)/\mu; \Gamma_1(\mu, z) \overset{def}{=} \Gamma(\mu, z)/(1-\mu)$ $(\mu \in (0;1/2))$.

Отметим, что *теорема 2* позволяет перенести условие (23), а значит и (25) на конечный интервал времени. Условие (25) означает, что множество Парето в пространстве критериев ММЗЛП (1), (2) мажорируется линией, координаты $(\Gamma_1(м, z); \Gamma_2(м, z))$ точек которой зависят от параметров $м \in (0;1/2)$ и $z > 1$. Таким образом, указанная линия может использоваться для оценки этого множества в критериальном пространстве.

Приведем ниже еще одно приложение z-преобразования к оценке эффективности ИП, описываемого моделью (1), (2). Пусть i-е лицо, принимающее решение (ЛПР) рассчитывает получить в результате реализации некоторого ИП значение своего целевого критерия не ниже величины $\overline{\overline{J}}_i$ $(i = 1,2)$, т. е.

$$J_i^*(м) \ge \overline{\overline{J}}_i \ (i = 1,2). \tag{26}$$

С учетом (23) и (26) имеем

$$м\overline{\overline{J}}_1 + (1-м)\overline{\overline{J}}_2 \le мJ_1^* + (1-м)J_2^* \le \Gamma(м, z),$$

откуда, учитывая (22) и группируя слагаемые при μ, получим $м\left\{\overline{\overline{J}}_1 - \overline{\overline{J}}_2 + ([1-2r]г + с)\sum_{k=1}^{n} Q_k(z)\right\} \le (r\tau + с)\sum_{k=1}^{n} Q_k(z) - \overline{\overline{J}}_2$.

Обозначая выражения при μ и правую часть последнего неравенства соответственно A и B, получим следующие оценки на параметр μ: $\begin{cases} м \le B/A, & A > 0 \\ м \ge -B/A, & A < 0 \end{cases}$. Если, кроме того, $\begin{cases} 0 \le B/A < 1/2 \\ 0 < -B/A < 1/2 \end{cases}$, то получим сужение интервалов изменения параметра μ вида

$$\begin{cases} м \in (0; B/A) \subset (0;1/2), & B/A > 1/2; \\ м \in (-B/A; 1/2) \subset (0;1/2), & -B/A > 0. \end{cases} \tag{27}$$

Таким образом, доказана теорема.

Теорема 3. Если имеют место условия $\begin{cases} B/A < 1/2 \ \theta \ A > 0 \\ -B/A > 0 \ \theta \ A < 0 \end{cases}$, то в ММЗЛП (1), (3) параметр μ изменяется соответственно в диапазонах, определяемых условиями (27).

Теорема 3 позволяет исключить из Парето-множества ММЗЛП (1), (2) те точки, для которых условия (26) не выполняются, и сузить его до множества точек в (1), (2), потенциально приемлемых для ЛПР.

Таким образом, основанный на z-преобразовании подход позволяет обосновывать ограниченность множества переменных, а значит доказывать существование решения в многокритериальных линейных моделях экономической динамики; проводить быструю предварительную оценку поискового пространства переменных многокритериальных МЗЛП для дальнейшей численной реализации решения задач указанного класса на основе соответствующих алгоритмов; строить явно задаваемые линии (поверхности) в критериальном пространстве, ограничивающие Парето-множество исходной ММЗЛП путем перехода к эквивалентной однокритериальной МЗЛП со сверткой критериев; исключать из Парето-множества ММЗЛП те точки, для которых значения целевых критериев ЛПР ниже требуемых им значений, сужая его до множества точек, потенциально приемлемых для ЛПР.

За счет простоты, быстроты и комплексности применения предложенного подхода для получения вышеописанного спектра результатов даже не математиками, он может быть рекомендован инвестиционным аналитикам, управляющим органам предприятий, регионов. при многоплановом экономико-математическом анализе линейных моделей экономической динамики. В настоящее время разработано математическое и программное обеспечение для реализации описанного подхода в виде пакета инвестиционного и финансового анализа [5].

Библиографический список

1. Медведев, А. В. Теоретическое и численное исследование двухкритериальной модели оптимизации реальных инвестиций / А. В. Медведев // Вестник Томс. гос. ун-та. Томск, 2006. С. 315–321.

2. Медведев, А. В. Применение *z*-преобразования и дискретного принципа максимума к анализу модели реальных инвестиций / А. В. Медведев, П. Н. Победаш // Вестник Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та им. акад. М. Ф. Решетнева / под ред. проф. Г. П. Белякова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2006. Вып. № 4(11). С. 32–37.

3. Подиновский, В. В. Парето-оптимальные решения многокритериальных задач / В. В. Подиновский, В. Д. Ногин. М. : Наука, 1982. 256 с.

4. Штойер, Р. Многокритериальная оптимизация: теория, вычисления, приложения / Р. Штойер. М. : Наука, 1982. 600 с.

5. Линейная динамика: программа для ЭВМ. Свидетельство о регистрации № 2004611491 от 17.06.2004. Правообладатели А. В. Медведев, П. Н. Победаш.

A. V. Medvedev

TO THE Z-TRANSFORMATION APPLY FOR THE ANALYSIS OF THE MULTYCRITERIAL LINE OPTIMAL CONTROL PROBLEM OF ECONOMIC DYNAMICS

The generalization of the z-transformation approach for the analysis of the multycriterial line optimal control problem is suggested. The z-transformation is applied for the proof of decision existing and receiving of the sufficient conditions of noneffectivity of the regional investment projects on the example of two-criterial model of a regional economics.

УДК 519.68

А. Ю. Ворожейкин, Е. С. Семенкин

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ДЛЯ ЗАДАЧ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ[1]

Для решения задач условной многокритериальной оптимизации предложен вероятностный генетический алгоритм. Проведен сравнительный анализ его эффективности на тестовых задачах. Показано, что вероятностный генетический алгоритм не уступает по эффективности стандартному генетическому алгоритму.

Постановка задачи и описание подхода. В общем виде многокритериальная задача оптимизации включает набор *N* параметров (переменных), множество *K* целевых функций и множество *M* ограничений. Целевые функции и ограничения являются функциями переменных.

Таким образом, при решении многокритериальной задачи необходимо найти оптимум по *K* критериям, а сама задача формально записывается следующим образом:

$$y = f(x) = (f_1(x), f_2(x),..., f_K(x)) \to opt,$$

$$g(x) = (g_1(x), g_2(x),..., g_r(x)) \ge 0,$$

$$h(x) = (h_{r+1}(x),\text{K}, h_M(x)) = 0,$$

где $x = (x_1, x_2,..., x_N) \in X$ – вектор решений, удовлетворяющий *M* ограничениям, $y = (y_1, y_2,..., y_K) \in Y$ – вектор целевых функций. При этом *X* означает пространство решений, а *Y* – пространство целей или критериальное пространство.

Последние десятилетия получили развитие и продемонстрировали свою универсальность и применимость в сложных практических задачах так называемые эволюционные алгоритмы, в частности – генетический алгоритм (ГА) [1], которые представляют собой стохастическую оптимизационную процедуру, основанную на имитации процессов естественной эволюции. Е. С. Семенкиным и Е. А. Соповым был предложен вероятностный генетический алгоритм (ВГА) безусловной оптимизации [2].

Работу ВГА в общем виде можно представить следующим образом.

1. Инициализировать случайным образом популяцию решений.

2. С помощью оператора селекции выбрать *r* наиболее пригодных индивидов текущей популяции (родителей). Вычислить распределение

$$P = \{p_1,\text{K}, p_n\},$$

$$p_j = P\{x_j = 1\} = \frac{1}{r}\sum_{i=1}^{r} x_j^i,\ j = \overline{1,n},$$

где *n* – длина хромосомы; x_j^i – *j*-й бит *i*-го индивида.

1. В соответствии с полученным распределением $P = \{p_1,\text{K}, p_n\}$ сформировать популяцию потомков с помощью датчика псевдослучайных чисел.

2. Новые решения (потомки) подвергнуть мутации.

3. Из популяции родителей и потомков сформировать новую рабочую популяцию.

4. Повторять шаги 2–5 пока не выполнится условие остановки.

[1] Работа выполнялась при поддержке ФЦНТП по теме 2006-РИ-19.0/001/377 (государственный контракт № 02.442.11.7337) и Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

Для решения задач условной многокритериальной оптимизации генетические алгоритмы должны быть оснащены методами учета ограничений и наличия многих целевых функций.

В данной работе для учета ограничений использовался метод динамического штрафа [3], выбранный после проведения сравнительного анализа эффективности различных методов учета ограничений в генетических алгоритмах.

Рассмотрим следующую задачу условной оптимизации для *i*-го критерия:

$$f_i(x) \to \text{opt}, \ i = \overline{1,K},$$

$$\begin{cases} g_j(x) \le 0, \ j = \overline{1,r}, \\ h_j(x) = 0, \ j = \overline{r+1,M}. \end{cases}$$

В методе динамического штрафа пригодность индивида *x* вычисляется по формуле

$$\text{fitness}_i(x) = f_i(x) + \delta\lambda(t)\sum_{j=1}^{M} f_j^{\beta}(x),$$

где *t* – номер текущего поколения; $\delta = 1$, если решается задача минимизации; $\delta = -1$, если решается задача максимизации; $f_j(x)$ – штраф за нарушение *j*-го ограничения; в – вещественное число; $л(t) = (C \cdot t)^{\alpha}$.

Штрафы $f_j(x)$ вычисляются динамически, в зависимости от степени нарушения ограничений, по формуле [3]

$$f_j(x) = \begin{cases} \max\{0, g_j(x)\}, \ j = \overline{1,r} \\ |h_j(x)|, \ j = \overline{r+1,M} \end{cases}.$$

Параметры C, α, в подбираются на практике для каждой задачи индивидуально. Рекомендованные значения $C = 0{,}5$, $\alpha = в = 2$ [3].

Процедура штрафования, переводит элемент *y* из критериального пространства *Y*, в оштрафованное критериальное пространство, которое обозначим $\widetilde{Y}$.

Для анализа эффективности многокритериальной оптимизации вероятностными генетическим алгоритмом были выбраны четыре наиболее распространенные известные схемы: VEGA (Vector Evaluated Genetic Algorithm) [4], FFGA (Fonseca and Fleming's Multiobjective Genetic Algorithm) [5], NPGA (Niched Pareto Genetic Algorithm) [6], SPEA (Strength Pareto Evolutionary Algorithm) [7].

Для задач условной оптимизации принцип Парето-доминирования следует применять в оштрафованном критериальном пространстве $\widetilde{Y}$.

Сравнение эффективности стандартного ГА и ВГА. Сравнение эффективности алгоритмов проводилось на следующих тестовых задачах условной оптимизации

Задача 1.

$$f_1(x,y) = (x-6)^2 + (y-4)^2 \to \min$$

$$f_2(x,y) = (x+2)^2 + (y-5)^2 \to \min$$

$$\begin{cases} g_1(x,y) = (x-1)^2 + (y-4)^2 \le 4 \\ g_2(x,y) = (x-3)^2 + (y-4)^2 \le 6{,}25. \end{cases}$$

Задача 2.

$$f_1(x,y) = (x-6)^2 + (y-4)^2 \to \min$$

$$f_2(x,y) = (x+2)^2 + (y-5)^2 \to \min$$

$$f_3(x,y) = (x-4)^2 + (y+4)^2 \to \min$$

$$\begin{cases} g_1(x,y) = (x-2)^2 + (y-2)^2 \le 10{,}24 \\ g_2(x,y) = (x-5)^2 + (y-1)^2 \le 16 \\ g_3(x,y) = (x-3)^2 + (y-4)^2 \le 9 \end{cases}.$$

Задача 3.

$$f_1(x,y) = (x-1)^2 + (y+1)^2 \to \min$$

$$f_2(x,y) = (x+2)^2 + (y-2)^2 \to \min$$

$$f_3(x,y) = (x-3)^2 + (y-4)^2 \to \min$$

$$f_4(x,y) = (x-4)^2 + (y-2)^2 \to \min$$

$$\begin{cases} g_1(x,y) = (x+1.8)^2 + (y-2)^2 \ge 4 \\ g_2(x,y) = (x-1)^2 + (y-4.5)^2 \ge 4 \\ g_3(x,y) = (x-5.2)^2 + (y-2)^2 \ge 9 \\ g_4(x,y) = (x-1)^2 + (y+2)^2 \ge 9 \\ g_5(x,y) = (x-1)^2 + (y-2)^2 \le 6{,}25 \end{cases}.$$

Задача 4.

$$f_1(x,y) = (x-1)^2 + (y+1)^2 \to \min$$

$$f_2(x,y) = (x+2)^2 + (y-2)^2 \to \min$$

$$f_3(x,y) = (x-3)^2 + (y-4)^2 \to \min$$

$$f_4(x,y) = (x-4)^2 + (y-2)^2 \to \min$$

$$\begin{cases} g_1(x,y) = x^2 + (y-6)^2 \le 4 \\ g_2(x,y) = (x+2)^2 + (y-5)^2 \le 4. \end{cases}$$

Особенность последней задачи состоит в том, что допустимая область лежит вне множества Парето.

В качестве исследуемых характеристик были выбраны: разброс точек в пространствах *X* и *Y*, процент Паретовских точек (%), процент допустимых точек (% доп.). В задачах 1 и 4 множество Парето представляет собой отрезок и части окружностей соответственно, поэтому для этих задач дополнительно исследовалось среднее расстояние (Ср.р) до отрезка и окружностей. Поскольку алгоритмы являются стохастическими, то для каждой настройки алгоритмов эксперименты проводились по 50 раз и исследуемые характеристики усреднялись. Для проверки того, являются ли различия между алгоритмами случайными, применялся тест Колмогорова–Смирнова (Kstest) с 5 % уровнем значимости. Kstest = 0, если различия случайны, иначе Kstest = 1.

Тестирование проводилось при наилучших и наихудших настройках генетических операторов алгоритмов, для того чтобы установить диапазон влияния вносимых изменений на качество работы (например, эти изменения, возможно, и не улучшают работу алгоритма при наилучших настройках, но улучшают при наихудших, что дает положительный эффект в условиях произвольного выбора настроек неподготовленным в области эволюционной оптимизации пользователем).

Метод SPEA представлен в табл. 1–4.

Различия между наихудшими настройками ГА и ВГА во всех случаях носят случайный характер. Различия между наилучшими настройками в большинстве случаев носят случайный характер. В тех случаях, когда различие не случайно, абсолютные значения отличаются не существенно.

Метод NPGA представлен в табл. 5–8.

Различия между наилучшими настройками в половине случаев носят случайных характер. В тех случаях, когда различие не случайно, стандартный ГА обеспечил лучший разброс точек, а ВГА лучший процент допустимых точек. Различия между наихудшими настройками также в половине случаев носят случайный характер. В тех слу-

Таблица 1

Численные характеристики наилучших настроек

№	Стандартный ГА					Вероятностный ГА				
	X	*Y*	%	% доп.	Ср.р	*X*	*Y*	%	% доп.	Ср.р
1	0,025 3	0,020 5	0	95,933 3	0,107 8	0,025 4	0,020 5	0	96,328 7	0,107 4
2	0,055 3	0,034 8	94,933 3	98,533 3		0,055 4	0,035 0	93,400 0	98,600 0	
3	0,036 8	0,022 0	86,560 9	86,496 6		0,036 4	0,021 7	83,240 9	84,664 4	
4	0,008 2	0,006 5	0	73,835 2	0,003 1	0,007 7	0,006 1	0	74,591 6	0,004 2

Таблица 2

Статистические характеристики наилучших настроек

№	Kstest				
	X	*Y*	% Парето	% доп.	Ср.р
1	0	0		0	0
2	0	0	0	0	
3	0	0	1	0	
4	0	0		0	1

Таблица 3

Численные характеристики наихудших настроек

№	Стандартный ГА					Вероятностный ГА				
	X	*Y*	%	% доп.	Ср.р	*X*	*Y*	%	% доп.	Ср.р
1	0,024 2	0,020 2	0	94,933 3	0,136 2	0,024 0	0,020 2	0	94,666 7	0,130 6
2	0,054 2	0,034 7	93,800 0	97,533 3		0,054 4	0,035 0	93,866 7	97,933 3	
3	0,035 2	0,021 0	84,726 4	83,031 2		0,034 9	0,020 8	82,213 8	82,793 1	
4	0,005 5	0,004 5	0	60,943 4	0,005 0	0,006 3	0,005 1	0	65,531 1	0,004 9

Таблица 4

Статистические характеристики наихудших настроек

№	Kstest				
	X	*Y*	% Парето	% доп.	Ср.р
1	0	0		0	0
2	0	0	0	0	
3	0	0	0	0	
4	0	0		0	0

Таблица 5

Численные характеристики наилучших настроек

№	Стандартный ГА					Вероятностный ГА				
	X	*Y*	%	% доп.	Ср.р	*X*	*Y*	%	% доп.	Ср.р
1	0,032 5	0,017 0	0	93,790 9	0,183 8	0,030 7	0,016 6	0	95,732 1	0,286 4
2	0,048 9	0,030 8	47,862 1	92,894 0		0,047 6	0,030 1	61,698 0	92,847 7	
3	0,031 6	0,018 1	92,713 8	92,713 8		0,023 1	0,013 2	23,072 0	93,590 5	
4	0,003 3	0,003 3	0	61,908 2	0,026 7	0,001 5	0,001 5	0	63,961 8	0,051 1

Таблица 6

Статистические характеристики наилучших настроек

№	Kstest				
	X	*Y*	% Парето	% доп.	Ср.р
1	1	1		1	1
2	0	0	1	1	
3	1	1	1	1	
4	0	0		0	0

Таблица 7

Численные характеристики наихудших настроек

№	Стандартный ГА					Вероятностный ГА				
	X	*Y*	%	% доп.	Ср.р	*X*	*Y*	%	% доп.	Ср.р
1	0,019 3	0,015 8	0	38,418 6	0,523 0	0,015 1	0,013 1	0	48,683 7	0,453 7
2	0,042 3	0,026 8	91,391 9	48,436 9		0,041 6	0,026 5	92,685 5	62,506 5	
3	0,022 4	0,012 3	80,422 6	17,824 8		0,020 6	0,011 3	85,478 0	23,072 0	
4	0,000 0	0,000 0	0	0,343 1	0,224 0	0,000 0	0,000 0	0	0,445 3	0,121 2

чаях, когда различие не случайно, стандартный ГА обеспечил лучший разброс точек, а ВГА лучший процент допустимых и Паретовских точек.

Метод FFGA представлен в табл. 9–12.

Различия между показателями разброса по *X* и *Y* среди наилучших настроек в большинстве случаев не случайно. Стандартный ГА обеспечил наилучший разброс точек, в то время как ВГА обеспечил наилучший процент Паретовских точек, и эти различия также не случайны. Различия между показателями разброса среди наихудших настроек в большинстве случаев случайны. В тех случаях, когда различия не случайны, стандартный ГА обеспечивает наилучший разброс. ВГА обеспечил наилучший процент допустимых и Паретовских точек, и это различие не случайно.

Метод VEGA представлен в табл. 13–16.

Для наилучших настроек стандартный ГА обеспечил наилучший разброс точек, и наилучшее расстояние до множества Парето в задачах 1 и 4, эти различия не случайны. По проценту допустимых и Паретовских точек в половине случаев различия случайны. В тех же случаях, когда различия не случайны, ВГА обеспечивает наилучшее значение этих показателей. Для наихудших настроек стандартный ГА также обеспечил наилучший разброс точек. По проценту допустимых точек различия случайны, а по проценту Паретовских точек различия не случайны в половине случаев в пользу ВГА.

Суммируя выводы по каждой схеме, можно сделать общее заключение: в большинстве случаев стандартный ГА обеспечивает наилучший разброс точек в критериальном пространстве и пространстве решений. Однако в абсолютном выражении различие между этими показателями несущественно. ВГА в большинстве случаев обеспечивает наилучший процент Паретовских и допустимых точек.

Таким образом, показано, что ВГА справляется с решением тестовых задач не хуже стандартного ГА, а в некоторых случаях превосходит его. Кроме того, ВГА содержит меньше настраиваемых параметров (отсутствует

Таблица 8

Статистические характеристики наихудших настроек

№	Kstest				
	X	*Y*	% Парето	% доп.	Ср.р
1	0	0		1	1
2	0	0	1	0	
3	1	1	1	1	
4	1	1		0	1

Таблица 9

Численные характеристики наилучших настроек

№	Стандартный ГА					Вероятностный ГА				
	X	*Y*	%	% доп.	Ср.р	*X*	*Y*	%	% доп.	Ср.р
1	0,028 7	0,016 1	0	96,649 8	0,075 0	0,025 3	0,015 9	0	97,279 4	0,150 5
2	0,051 2	0,032 7	50,188 8	95,267 4		0,049 7	0,031 4	56,878 9	95,781 2	
3	0,029 9	0,017 3	28,852 3	94,275 2		0,022 7	0,012 6	44,398 4	93,823 7	
4	0,003 2	0,002 7	0	74,899 6	0,018 9	0,001 4	0,001 4	0	72,016 0	0,045 8

Таблица 10

Статистические характеристики наилучших настроек

№	Kstest				
	X	*Y*	% Парето	% доп.	Ср.р
1	1	0		0	1
2	1	1	1	0	
3	1	1	1	0	
4	1	1		0	0

Таблица 11

Численные характеристики наихудших настроек

№	Стандартный ГА					Вероятностный ГА				
	X	*Y*	%	% доп.	Ср.р	*X*	*Y*	%	% доп.	Ср.р
1	0,014 4	0,012 4	0	52,834 1	0,385 9	0,012 1	0,010 7	0	65,999 3	0,303 2
2	0,038 2	0,023 9	94,255 7	48,656 6		0,033 7	0,021 0	95,679 6	57,555 4	
3	0,018 0	0,009 7	92,991 7	23,082 7		0,015 4	0,008 3	92,135 5	37,728 5	
4	0	0	0	1,044 2	0,212 2	0,000 5	0,000 3	0	2,949 1	0,160 2

Таблица 12

Статистические характеристики наихудших настроек

№	Kstest				
	X	*Y*	% Парето	% доп.	Ср.р
1	1	0		1	1
2	1	1	1	1	
3	0	0	0	1	
4	0	0		0	0

оператор скрещивания), за счет чего уменьшается время работы алгоритма.

Все это делает ВГА перспективным для решения реальных практических задач [8].

Библиографический список

1. Goldberg, D. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning / D. Goldberg. Reading, MA, Addison-Wesly, 1989.

2. Семенкин, Е. С. Вероятностные эволюционные алгоритмы оптимизации сложных систем / Е. С. Семенкин, Е. А. Сопов // Труды Международных научно-практических конференций AIS'05/CAD-2005. М. : Физматлит, 2005. С. 77–78.

3. Michalewicz, Z. Genetic algorithms, numerical optimization and constraints / Z. Michalewicz // Proc. of the Sixth Int. Conf. on Genetic Algorithms and their Applications. Pittsburgh : PA, 1995.

4. Schaffer, J. D. Multiple objective optimization with vector evaluated genetic algorithms / J. D. Schaffer ; ed. by J. J. Grefenstette // Proceedings of an International Conference on Genetic Algorithms and Their Applications. Pittsburgh : PA, 1985. P. 93–100.

5. Fonseca, C. M. Multiobjective optimization and multiple constraint handling with evolutionary algorithms. P I. A unified formulation. Technical report 564 / C. M. Fonseca, P. J. Fleming ; University of Sheffield. Sheffield, 1995.

6. Horn, J. A niched Pareto genetic algorithm for multiobjective optimization / J. Horn, N. Nafpliotis, D. E. Goldberg // Proceedings of the First IEEE Conference on Evolutionary Computation. Vol. 1. Piscataway, 1994. P. 82–87.

7. Zitzler, E. Multiobjective evolutionary algorithms: A comparative case study and the strength Pareto approach / E. Zitzler, L. Thiele // IEEE Transactions on Evolutionary Computation. Vol. 3. 1999. No. 4. P. 257–271.

8. Семенкин, Е. С. Модели и алгоритмы поддержки принятия решений инвестиционного аналитика / Е. С. Семенкин, А. В. Медведев, А. Ю. Ворожейкин // Вестник Томск. гос. ун-та. Вып. 293. 2006. С. 63–70.

Таблица 13

Численные характеристики наилучших настроек

№	Стандартный ГА					Вероятностный ГА				
	X	*Y*	%	% доп.	Ср.р	*X*	*Y*	%	% доп.	Ср.р
1	0,035 8	0,016 9	0	95,800 5	0,181 0	0,029 6	0,015 8	0	94,718 0	0,281 1
2	0,052 9	0,033 7	26,620 0	95,446 6		0,049 5	0,030 9	26,217 5	96,308 3	
3	0,031 0	0,018 1	32,166 2	94,515 7		0,023 4	0,013 1	41,749 2	90,589 3	
4	0,003 0	0,002 6	0,000 0	30,162 8	0,010 3	0,001 4	0,001 2	0,000 0	33,045 9	0,025 5

Таблица 14

Статистические характеристики наилучших настроек

№	Kstest				
	X	*Y*	% Парето	% доп.	Ср.р
1	1	1		0	1
2	0	0	0	0	
3	1	1	1	1	
4	1	1		1	1

Таблица 15

Численные характеристики наихудших настроек

№	Стандартный ГА					Вероятностный ГА				
	X	*Y*	%	% доп.	Ср.р	*X*	*Y*	%	% доп.	Ср.р
1	0,017 4	0,012 5	0	24,324 1	0,674 2	0,022 7	0,011 0	0	24,526 2	0,635 0
2	0,028 6	0,017 8	94,383 1	16,462 3		0,023 4	0,014 8	96,308 3	18,520 8	
3	0,013 5	0,007 5	93,382 0	9,331 5		0,010 5	0,005 9	92,353 9	11,043 6	
4	0	0	0	0,000 0	0,356 1	0	0	0	0,581 6	0,250 9

Таблица 16

Статистические характеристики наихудших настроек

№	Kstest				
	X	*Y*	% Парето	% доп.	Ср.р
1	1	1		0	0
2	1	1	1	0	
3	1	1	0	0	
4				0	0

A. Y. Vorozheykin, E. S. Semenkin

PROBABILISTIC GENETIC ALGORITHM FOR MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION

The probabilistic genetic algorithm for solving constrained multi-objective optimization problems is suggested. Effectiveness analysis on test problems is fulfilled. It is demonstrated that probabilistic genetic algorithm outperforms conventional genetic algorithm.

УДК 004.272.3

С. Н. Ефимов, В. В. Тынченко, В. С. Тынченко

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ ЭФФЕКТИВНОЙ АРХИТЕКТУРЫ ДЛЯ РАСПРЕДЕЛЕННОГО РЕШЕНИЯ СЛОЖНЫХ ЗАДАЧ

Рассмотрена проблема выбора эффективной архитектуры распределенной вычислительной сети для параллельного решения сложной задачи. Предлагается аналитическая модель функционирования вычислительной сети типа клиент–сервер, построенная средствами теории массового обслуживания. Разработан метод оценки производительности вычислительной сети рассматриваемого типа, позволяющий учитывать характеристики решаемой задачи.

Проектирование сложных систем представляет собой итерационный процесс, когда на каждой последующей стадии выполняется доработка и детализация предыдущей версии проектируемой системы. В силу этого на первоначальном системотехническом этапе проектирования распределенную вычислительную сеть (РВС) целесообразно рассматривать как абстрактную вычислительную систему, состоящую из вычислительных узлов, объединенных каналами связи. Выбор эффективной структуры РВС определяется назначением системы, а также требованиями к ее производительности и надежности.

В ходе проектирования РВС, предназначенной для эффективного распределенного решения сложной задачи, требуется согласование структуры вычислительной сети со структурой параллельно выполняемого алгоритма решаемой задачи. В вычислительном смысле эффективной является методика крупноблочного распараллеливания алгоритма сложной задачи: разработка параллельного алгоритма, состоящего из идентичных последовательных ветвей, слабо связанных по данным и сравнимых по количеству операций. Одним из конструктивных приемов крупноблочного распараллеливания является *распараллеливание по циклам*, когда отдельные ветви алгоритма параллельно реализуют вычисления всех итераций одного цикла [1].

Крупноблочное распараллеливание алгоритма решаемой задачи хорошо согласуется с использованием клиент-серверной архитектуры для организации взаимодействия вычислительных узлов РВС в процессе решения задачи. На клиентах запускаются процессы, циклически реализующие вычисления по параллельным ветвям алгоритма; сервер, в свою очередь, реализует логику управления параллельными процессами, информационный обмен между ними, а также интерфейс с пользователем.

Обеспечение требуемой производительности РВС в процессе системотехнического проектирования сводится к оценке производительности исследуемых вариантов построения системы, а также к оптимизации структуры и режима функционирования для достижения заданной производительности при минимальной стоимости системы. Основным инструментом при исследовании производительности являются модели производительности вычислительных систем, позволяющие к тому же оценивать характеристики вычислительных процессов и использования ресурсов. Указанные характеристики необходимы для выявления факторов, влияющих на производительность, а также узких мест и недоиспользованных ресурсов.

Построим аналитическую модель производительности клиент-серверной РВС, состоящей из произвольного количества типов клиентов, произвольного числа клиентов каждого типа и многопроцессорного сервера.

Характеристики моделируемой РВС: N – количество типов клиентов; m_i – количество клиентов i-го типа ($i = \overline{1, N}$); n – количество однородных процессоров сервера; ω_i – быстродействие клиентов i-го типа (FLOPS); ω_{srv} – быстродействие процессоров на сервере (FLOPS); n_i – быстродействие канала связи клиентов i-го типа с сервером (бит/с).

Характеристики решаемой задачи: NO_{alg} – средняя вычислительная сложность (количество машинных операций) одной итерации вычислений на одной ветви алгоритма решения задачи (оп.); NO_{ctrl} – средняя вычислительная сложность алгоритма управления одной ветвью алгоритма решения задачи (оп.); V_{alg} – средний объем данных клиент-серверного обмена (бит); $T_{доп}$ – максимально допустимое время решения задачи.

Процесс функционирования РВС можно рассматривать как последовательную смену состояний на некотором интервале времени Δt и применить для описания данного процесса аппарат теории массового обслуживания. Представим процесс функционирования РВС замкнутой системой массового обслуживания (СМО) с ожиданием и случайным распределением заявок всех типов по всем процессорам сервера без взаимодействия между собой. Пусть имеется N типов клиентов, причем количество клиентов каждого типа произвольное ($m_1, m_2, \ldots, m_N$). Каждый клиент в некоторые случайные моменты времени нуждается в обслуживании. Обслуживание осуществляется посредством n однородных процессоров сервера. Поток заявок на обслуживание от клиентов каждого типа – пуассоновский с параметром λ_i, где $i = \overline{1, N}$. Интенсивность обслуживания каждой заявки подчиняется экспоненциальному закону распределения с параметром μ_i. Вновь поступившая на обслуживание заявка направляется с равной вероятностью на любой из свободных процессоров сервера и принимается на обслуживание. Если все процессоры заняты, то поступившая на обслуживание заявка становится в очередь и ждет своего обслуживания. Дисциплина обслуживания – случайный равновероятный выбор из очереди.

Рассматриваемая СМО может находиться в следующих состояниях:

– $a^{0,0}_{0,0,\ldots,0}$ – в системе заявок на обслуживание нет, все процессоры сервера свободны;

– $a^{1,0}_{1,0,\ldots,0}$ – в системе находится одна заявка от клиента первого типа, на одном процессоре сервера обслуживается одна заявка, очереди нет;

– $a^{1,0}_{0,0,\ldots,1}$ – в системе находится одна заявка от клиента N-го типа, на одном процессоре сервера обслуживается одна заявка, очереди нет;

– $a^{k,l}_{j_1,j_2,\ldots,j_N}$ – в системе находится j_i заявок от клиента i-го типа, где $i = 1, 2,\ldots, N$, k процессоров сервера занято обслуживанием, l заявок находятся в очередях на обслуживание;

– $a^{h,M-h}_{m_1,m_2,\ldots,m_N}$ – в системе находится m_i заявок от клиентов каждого типа, h процессоров сервера занято обслуживанием, $(M-h)$ заявок находятся в очередях на обслуживание, где M – суммарное число клиентов:

$$M = \sum_{i=1}^{N} m_i \; ; \; h = \begin{cases} n, & \text{при } M > n \\ M, & \text{при } M \le n \end{cases} ;$$

$$k = \overline{0,h} \; ; \; l = \overline{0,(M-k)} .$$

Используя правила составления системы дифференциальных уравнений, запишем систему дифференциальных уравнений рассматриваемой СМО в виде [2]

$$\frac{dP^{0,0}_{0,0,\ldots,0}(t)}{dt} = -\sum_{i=1}^{N} m_i л_i P^{0,0}_{0,0,\ldots,0}(t) + м_1 P^{1,0}_{1,0,\ldots,0}(t) +$$

$$+ м_2 P^{1,0}_{0,1,\ldots,0}(t) + \ldots + м_N P^{1,0}_{0,0,\ldots,1}(t)$$

. . . . . .

$$\frac{dP^{k,l}_{j_1,j_2,\ldots,j_N}(t)}{dt} = -\sum_{i=1}^{N} [(m_i - j_i) л_i + d_i м_i] P^{k,l}_{j_1,j_2,\ldots,j_N}(t) +$$

$$+ (m_1 - j_1 + 1) л_1 \frac{n-k+1}{n} P^{k-1,l}_{j_1-1,j_2,\ldots,j_N}(t)$$

$$+ (m_2 - j_2 + 1) л_2 \frac{n-k+1}{n} P^{k-1,l}_{j_1,j_2-1,\ldots,j_N}(t) + \ldots +$$

$$+ (m_N - j_N + 1) л_N \frac{n-k+1}{n} P^{k-1,l}_{j_1,j_2,\ldots,j_N-1}(t) +$$

$$+ (m_1 - j_1 + 1) л_1 \frac{k}{n} P^{k,l-1}_{j_1-1,j_2,\ldots,j_N}(t) +$$

$$+ (m_2 - j_2 + 1) л_2 \frac{k}{n} P^{k,l-1}_{j_1,j_2-1,\ldots,j_N}(t) + \ldots +$$

$$+ (m_N - j_N + 1) л_N \frac{k}{n} P^{k,l-1}_{j_1,j_2,\ldots,j_N-1}(t) +$$

$$+ \left[1 - \left(\frac{k-1}{k}\right)^{l+1}\right] d_1 м_1 P^{k,l+1}_{j_1+1,j_2,\ldots,j_N}(t) +$$

$$+ \left[1 - \left(\frac{k-1}{k}\right)^{l+1}\right] d_2 м_2 P^{k,l+1}_{j_1,j_2+1,\ldots,j_N}(t) +$$

$$+ \ldots \left[1 - \left(\frac{k-1}{k}\right)^{l+1}\right] d_N м_N P^{k,l+1}_{j_1,j_2,\ldots,j_N+1}(t) +$$

$$+ \left(\frac{k}{k+1}\right)^{l} d_1 м_1 P^{k+1,l}_{j_1+1,j_2,\ldots,j_N}(t) +$$

$$+ \left(\frac{k}{k+1}\right)^{l} d_2 м_2 P^{k+1,l}_{j_1,j_2+1,\ldots,j_N}(t) + \ldots +$$

. . . . . .

$$\frac{dP^{h,M-h}_{m_1,m_2,\ldots,m_N}(t)}{dt} =$$

$$= -\sum_{i=1}^{N} м_i P^{h,M-h}_{m_1,m_2,\ldots,m_N}(t) +$$

$$+ л_1 P^{h,M-h-1}_{m_1-1,m_2,\ldots,m_N}(t) +$$

$$+ л_2 P^{h,M-h-1}_{m_1,m_2-1,\ldots,m_N}(t) + \ldots +$$

$$+ л_N P^{h,M-h-1}_{m_1,m_2,\ldots,m_N-1}(t),$$

где $d_i = \begin{cases} j_i, & \text{при } j_i < k \\ k, & \text{при } j_i \ge k \end{cases}$.

При условии

$$c_i = \frac{л_i}{м_i} \le 1 \qquad (1)$$

существует стационарный режим, а функционирование СМО описывается системой линейных уравнений. Исходя из условия существования стационарного режима (1), определим соотношение параметров вычислительной системы ω_i, ω_{srv} и ν_i, при котором выполняется условие стационарности исследуемой СМО.

Параметры потоков λ_i и μ_i зависят от величин T_{0i} и τ_i, где T_{0i} – среднее время между заявками клиента i-го типа, которое представляет собой среднее время выполнения одной итерации алгоритма на клиентах i-го типа и зависит от аппаратной реализации клиентов i-го типа, а также от заданного параметра задачи NO_{alg}:

$$T_{0i} = \frac{NO_{alg}}{ш_i}, \qquad (2)$$

где τ_i – среднее время обслуживания заявки клиента i-го типа, которое зависит от аппаратной реализации сервера, пропускной способности каналов связи, а также от заданных параметров задачи NO_{alg} и V_{alg}:

$$ф_i = ф_{trns\,i} + ф_{srv},$$

$$ф_{trns\,i} = \frac{V_{alg}}{\nu_i}, \; ф_{srv} = \frac{NO_{ctrl}}{ш_{srv}},$$

следовательно,

$$ф_i = \frac{V_{alg}}{\nu_i} + \frac{NO_{ctrl}}{ш_{srv}}. \qquad (3)$$

Интенсивность потока заявок на обслуживание представляет собой среднее число заявок, поступающих в единицу времени, поэтому l_i определяется по формуле

$$л_i = \frac{I}{I \cdot T_{0i} - I \cdot ф_i} = \frac{1}{T_{0i} - ф_i}, \qquad (4)$$

где I – среднее количество итераций на одной ветви алгоритма решения задачи.

Интенсивность обслуживания заявок – это величина, обратная среднему времени обслуживания заявки, следовательно, m_i определяется по следующей формуле:

$$м_i = \frac{1}{ф_i}. \qquad (5)$$

С учетом выражений (1), (4) и (5) для существования стационарного режима необходимо выполнение следующего соотношения:

$$\frac{ф_i}{T_{0i} - ф_i} \le 1.$$

Произведя преобразование, получим соотношение параметров T_{0i} и τ_i, при котором выполняется условие существования стационарного режима

$$T_{0i} \geq 2 \cdot \tau_i . \qquad (6)$$

Подставляя в условии (6) выражения для T_{0i} и τ_i из уравнений (2) и (3) соответственно, получаем соотношение параметров вычислительной системы ω_i, ω_{srv} и ν_i, при котором выполняется условие стационарности исследуемой СМО

$$\begin{cases} \text{щ}_i < \dfrac{\nu_i \cdot NO_{a_{lg}}}{2V_{a_{lg}}}, \\ \text{щ}_{srv} \geq \dfrac{2NO_{ctrl} \cdot \text{щ}_i \cdot \nu_i}{\nu_i \cdot NO_{a_{lg}} - 2V_{a_{lg}} \cdot \text{щ}_i} \end{cases} . \qquad (7)$$

При выполнении условия (7) система линейных уравнений, описывающая функционирование СМО, с учетом $Q_{k,l}$ – вероятности того, что в системе находящейся в состоянии $a_{k,l}$, после обслуживания одной из $k + l$ заявок общее число заявок, ожидающих обслуживания в очередях, не изменится, имеет следующий вид:

$$\begin{gathered} -\sum_{i=1}^{N} m_i \text{л}_i P^{0,0}_{0,0,\ldots,0} + \text{м}_1 P^{1,0}_{1,0,\ldots,0} + \\ + \text{м}_2 P^{1,0}_{0,1,\ldots 0} + \ldots + \text{м}_N P^{1,0}_{0,0,\ldots,1} = 0 , \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ [-\sum_{i=1}^{N} (m_i - j_i)\text{л}_i + d_i \text{м}_i] P^{k,l}_{j_1, j_2, \ldots, j_N} + \\ + (m_1 - j_1 + 1)\text{л}_1 \frac{n-k+1}{n} P^{k-1,l}_{j_1-1, j_2, \ldots, j_N} + \\ \ldots + (m_N - j_N + 1)\text{л}_N \frac{n-k+1}{n} P^{k-1,l}_{j_1, j_2, \ldots, j_N - 1} + \\ + (m_1 - j_1 + 1)\text{л}_1 \frac{k}{n} P^{k,l-1}_{j_1-1, j_2, \ldots, j_N} + \ldots \\ + (m_N - j_N + 1)\text{л}_N \frac{k}{n} P^{k,l-1}_{j_1, j_2, \ldots, j_N - 1} + \\ + \left[1 - \left(\frac{k-1}{k}\right)^{l+1}\right] d_1 \text{м}_1 P^{k,l+1}_{j_1+1, j_2, \ldots, j_N} + \ldots \\ + \left[1 - \left(\frac{k-1}{n}\right)^{l+1}\right] d_N \text{м}_N P^{k,l+1}_{j_1, j_2, \ldots, j_N + 1} + \\ + \left(\frac{k}{k+1}\right)^{l} d_1 \text{м}_1 P^{k+1,l}_{j_1+1, j_2, \ldots, j_N} + \ldots + \\ + \left(\frac{k}{k+1}\right)^{l} d_N \text{м}_N P^{k+1,l}_{j_1, j_2, \ldots, j_N + 1} = 0, \\ \ldots\ldots\ldots\ldots \\ -\sum_{i=1}^{N} \text{м}_i P^{h,M-h}_{m_1, m_2, \ldots, m_N} + \\ + \text{л}_1 P^{h,M-h-1}_{m_1-1, m_2, \ldots, m_N} + \text{л}_2 P^{h,M-h-1}_{m_1, m_2-1, m_N} + \ldots + \\ + \text{л}_N P^{h,M-h-1}_{m_1, m_2, \ldots, m_N - 1} = 0 \end{gathered} \qquad (8)$$

С учетом условия нормировки

$$P^{0,0}_{0,0,\ldots,0} + \sum_{k=1}^{h} \sum_{l=0}^{M-k} \sum_{j_1=0}^{k+l} \sum_{j_2=0}^{k+l-j_1} \cdots \sum_{j_{N-1}=0}^{k+l-R} P^{k,l}_{j_1, j_2, \ldots, j_N - 1, (k+l-R)} = 1 \qquad (9)$$

система линейных уравнений (8) является полной и имеет единственное решение. Так как в системе (8) $\sum_{i=1}^{N} j_i = (k+l)$, то индексы k и l в обозначении вероятности можно опустить.

Для решения системы уравнений (8) в общем виде сделаем подстановку:

$$P_{j_1, j_2, \ldots, j_N} = \prod_{i=1}^{N} \widetilde{P}_{j_i} \qquad (10)$$

и запишем систему уравнений в следующем виде:

$$\begin{gathered} -\left[\sum_{i=1}^{N} (m_i - j_i)\text{л}_i + d_i \text{м}_i\right] \widetilde{P}_{j_1} \cdot \widetilde{P}_{j_2} \cdot \ldots \cdot \widetilde{P}_{j_{1N}} + \\ + (m_1 - j_1 + 1)\text{л}_1 \frac{n-k+1}{n} \widetilde{P}_{j_1-1} \cdot \widetilde{P}_{j_2} \cdot \ldots \cdot \widetilde{P}_{j_N} + \ldots \\ \ldots + (m_N - j_N + 1)\text{л}_N \frac{n-k+1}{n} \widetilde{P}_{j_1} \cdot \widetilde{P}_{j_2} \cdot \ldots \cdot \widetilde{P}_{j_N - 1} + \\ + (m_1 - j_1 + 1)\text{л}_1 \frac{k}{n} \widetilde{P}_{j_1-1} \cdot \widetilde{P}_{j_2} \cdot \ldots \cdot \widetilde{P}_{j_N} + \ldots \\ \ldots + (m_N - j_N + 1)\text{л}_N \frac{k}{n} \widetilde{P}_{j_1} \cdot \widetilde{P}_{j_2} \cdot \ldots \cdot \widetilde{P}_{j_N - 1} + \\ + \left[1 + \left(\frac{k-1}{k}\right)^{l+1}\right] d_1 \text{м}_1 \widetilde{P}_{j_1+1} \cdot \widetilde{P}_{j_2} \cdot \ldots \cdot \widetilde{P}_{j_N} + \ldots \\ \ldots + \left[1 + \left(\frac{k-1}{k}\right)^{l+1}\right] d_N \text{м}_N \widetilde{P}_{j_1} \cdot \widetilde{P}_{j_2} \cdot \ldots \cdot \widetilde{P}_{j_N + 1} + \\ + \left(\frac{k}{k+1}\right)^{l} d_1 \text{м}_1 \widetilde{P}_{j_1+1} \cdot \widetilde{P}_{j_2} \cdot \ldots \cdot \widetilde{P}_{j_N} + \ldots \\ \ldots + \left(\frac{k}{k+1}\right)^{l} d_N \text{м}_N \widetilde{P}_{j_1} \cdot \widetilde{P}_{j_2} \cdot \ldots \cdot \widetilde{P}_{j_N + 1} = 0 . \end{gathered} \qquad (11)$$

Перегруппируем систему (11) таким образом, чтобы $\widetilde{P}_{j_i}$ входили в соответствующие выражения, содержащие m_i, l_i, μ_i, т. е. произведем разделение переменных по индексам, после чего она примет вид

$$\begin{gathered} \left\{ (m_1 - j_1 + 1)\text{л}_1 \frac{n-k+1}{n} \widetilde{P}_{j_1-1} - \right. \\ - [(m_1 - j_1)\text{л}_1 + d_1 \text{м}_1] \widetilde{P}_{j_1} + \\ + (m_1 - j_1 + 1)\text{л}_1 \frac{k}{n} \widetilde{P}_{j_1-1} + \\ \left. + \left[1 - \left(\frac{k-1}{k}\right)^{l+1}\right] d_1 \text{м}_1 \widetilde{P}_{j_1+1} + \right. \\ \left. + \left(\frac{k}{k+1}\right)^{l} d_1 \text{м}_1 \widetilde{P}_{j_1+1} \right\} \widetilde{P}_{j_2} \cdot \widetilde{P}_{j_3} \cdots \widetilde{P}_{j_N} + \\ + \left\{ (m_2 - j_2 + 1)\text{л}_2 \frac{n-k+1}{n} \widetilde{P}_{j_2-1} - \right. \\ - [(m_2 - j_2)\text{л}_2 + d_2 \text{м}_2] \widetilde{P}_{j_2} + \\ + (m_2 - j_2 + 1)\text{л}_2 \frac{k}{n} \widetilde{P}_{j_2-1} + \\ \left. + \left[1 - \left(\frac{k-1}{k}\right)^{l+1}\right] d_2 \text{м}_2 \widetilde{P}_{j_2+1} + \right. \end{gathered} \qquad (12)$$

$$+\left(\frac{k}{k+1}\right)^{l} d_2 м_2 \widetilde{P}_{j_2+1}\Big\}\widetilde{P}_{j_1}\cdot\widetilde{P}_{j_3}\cdots\widetilde{P}_{j_N}+\ldots+$$
$$+\Big\{(m_N-j_N+1)л_N\frac{n-k+1}{n}\widetilde{P}_{j_N-1}-$$
$$-\left[(m_N-j_N)л_N+d_N\mu_N\right]\widetilde{P}_{j_N}+$$
$$+(m_N-j_N+1)л_N\frac{k}{n}\widetilde{P}_{j_N-1}+$$
$$+\left[1-\left(\frac{k-1}{k}\right)^{l+1}\right]d_N м_N\widetilde{P}_{j_N+1}+$$
$$+\left(\frac{k}{k+1}\right)^{l} d_N м_N\widetilde{P}_{j_N+1}\Big\}\widetilde{P}_{j_1}\cdot\widetilde{P}_{j_2}\cdots\widetilde{P}_{j_{N-1}}=0$$

Система линейных уравнений (12) будет иметь решение только в случае, когда выражения в фигурных скобках равны нулю, так как $\widetilde{P}_{j_i}\neq 0$. Следовательно, можно записать

$$(m_1-j_1+1)л_1\frac{n-k+1}{n}\widetilde{P}_{j_1-1}-$$
$$-\left[(m_1-j_1)л_1+d_1м_1\right]\widetilde{P}_{j_1}+$$
$$+(m_1-j_1+1)л_1\frac{k}{n}\widetilde{P}_{j_1-1}+$$
$$+\left[1-\left(\frac{k-1}{k}\right)^{l+1}\right]d_1м_1\widetilde{P}_{j_1+1}+$$
$$+\left(\frac{k}{k+1}\right)^{l} d_1м_1\widetilde{P}_{j_1+1}=0,$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$(m_i-j_i+1)л_i\frac{n-k+1}{n}\widetilde{P}_{j_i-1}-$$
$$-\left[(m_i-j_i)л_i+d_iм_i\right]\widetilde{P}_{j_i}+$$
$$+(m_i-j_i+1)л_i\frac{k}{n}\widetilde{P}_{j_i-1}+$$
$$+\left[1-\left(\frac{k-1}{k}\right)^{l+1}\right]d_iм_i\widetilde{P}_{j_i+1}+ \qquad (13)$$
$$+\left(\frac{k}{k+1}\right)^{l} d_iм_i\widetilde{P}_{j_i+1}=0,$$
$$(m_N-j_N+1)л_N\frac{n-k+1}{n}\widetilde{P}_{j_N-1}-$$
$$-\left[(m_N-j_N)л_N+d_Nм_N\right]\widetilde{P}_{j_N}+$$
$$+(m_N-j_N+1)л_N\frac{k}{n}\widetilde{P}_{j_N-1}+$$
$$+\left[1-\left(\frac{k-1}{k}\right)^{l+1}\right]d_Nм_N\widetilde{P}_{j_N+1}+$$
$$+\left(\frac{k}{k+1}\right)^{l} d_Nм_N\widetilde{P}_{j_N+1}=0.$$

Каждое уравнение системы (13) представляет собой систему уравнений СМО, состоящую из m источников заявок (клиентов) одного типа и n обслуживающих приборов (процессоров сервера). Система линейных уравнений рассматриваемой СМО для стационарного режима имеет следующий вид:

$$mcP_{0,0}=P_{1,0},$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$\left[(m-k-1)c+k\right]P_{k,l}=$$
$$=(m-k-l+1)c\frac{n-k+1}{n}P_{k-1,l}+$$
$$+(m-k-l+1)c\frac{k}{n}P_{k,l-1}+$$
$$+\frac{k^{l}}{(k+1)^{l-1}}P_{k+1,l}+ \qquad (14)$$
$$+\left[1-\left(\frac{k-1}{k}\right)^{l+1}\right]kP_{k,l+1},$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$mP_{M,0}=c\frac{n-m+l}{n}P_{M-1,0},$$

где $P_{k,l}$ – вероятность нахождения СМО в состоянии, при котором k заявок обслуживаются и l находятся в очередях и ждут обслуживания,

$$c=\frac{л}{м},\ k=\overline{0,n},\ l=\overline{0,m-k}.$$

В результате последовательного решения системы уравнений (14) получим новую систему уравнений для определения вероятностей $P_{k,l}$ вида

$$P_{1,0}=mc\cdot P_{0,0},$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$P_{k,l}=\frac{m-k-l+1}{k}c\frac{n-k+1}{n}P_{k-1,l}+$$
$$+\frac{m-k-l+1}{k}c\frac{k}{n}P_{k,l-1}, \qquad (15)$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$P_{m,0}=\frac{1}{m}c\frac{n-m+1}{n}P_{m-1,0}.$$

Следовательно, для определения вероятностей $P_{k,l}$ достаточно решить систему уравнений (15), последовательно выражая вероятности $P_{1,l}$, $P_{k,l}$, $P_{m,0}$ через $P_{0,0}$.

Сделав соответствующие преобразования по схеме, реализующей метод индукции, получим решение в общем виде. Используя условие нормировки

$$P_{0,0}+\sum_{k=1}^{h}\sum_{l=0}^{m-k}P_{k,l}=1,$$

найдем выражение, позволяющее определить вероятности $P_{k,l}$ состояний СМО:

$$P_{k,l}=\frac{\binom{k+l-1}{l}\binom{n}{k}\frac{m!}{(m-k-l)}\frac{1}{n^{(k+l)}}c^{(k+l)}}{\sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{m-i}\binom{i+j-1}{j}\binom{n}{j}\frac{m!}{(m-i-j)!}\frac{1}{n^{(i+j)}}c^{(i+j)}},$$

где $h=\begin{cases}n, & \text{при } m>n,\\ m, & \text{при } m\le n.\end{cases}$

Отсюда следует, что выражение для решения системы уравнений (13) будет иметь следующий вид:

$$\widetilde{P}_{j_i} = \binom{k+l-1}{l} \times$$

$$\times \binom{n}{k} \frac{m_i!}{(m_i - j_i)!} \frac{1}{n^{(k+l)}} c_i^{j_i} \widetilde{P}_{0i}, \qquad (16)$$

причем $\sum_{j_i=0}^{m_i} \widetilde{P}_{j_i} \neq 1$. Осуществляя обратную подстановку выражение (16) в (10) с учетом количества путей $\chi_{(k+l),j_i}$ достижения состояния $a^{k,l}_{j_1,j_2,\ldots,j_N}$, что в общем случае соответствует полиномиальному коэффициенту, равному

$$\chi_{(k+l),j_i} = \frac{(k+l)!}{\prod_{i=1}^{N} j_i!},$$

где $(k+l) = 0,1,\ldots,\sum_{i=1}^{N} j_i$, получим

$$P^{k,l}_{j_1,j_2,\ldots,j_N} = \prod_{i=1}^{N} \widetilde{P}_{j_i} =$$

$$= \binom{k+l-1}{l} \binom{n}{k} \frac{1}{n^{(k+l)}} \times$$

$$\times \frac{(k+l)!}{\prod_{i=1}^{N} j_i!} \prod_{i=1}^{N} \frac{m_i!}{(m_i - j_i)!} c_i^{j_i} P^{0,0}_{0,0,\ldots,0}. \qquad (17)$$

В данном случае $P^{0,0}_{0,0,\ldots,0}$ определяется из условия нормировки (9)

$$P^{0,0}_{0,0,\ldots,0} =$$

$$= \left\{ \sum_{k=1}^{h} \sum_{l=0}^{M-k} \binom{k+l-1}{l} \binom{n}{k} \frac{1}{n^{(k+l)}} \frac{(k+l)!}{\prod_{i=1}^{N} j_i!} \sum_{\substack{j_1=0,m_1 \\ j_2=0,m_2 \\ \ldots\ldots \\ j_N=0,m_N}} \prod_{i=1}^{N} \frac{m_i!}{(m_i - j_i)!} c_i^{j_i} \right\}^{-1}. \qquad (18)$$

Проведя подстановку условия (18) в (17), получим решение системы уравнений в общем виде

$$P^{k,l}_{j_1,j_2,\ldots,j_N} =$$

$$= \frac{\binom{k+l-1}{l} \binom{n}{k} \frac{1}{n^{(k+l)}} \frac{(k+l)!}{\prod_{i=1}^{N} j_i!} \prod_{i=1}^{N} \frac{m_i!}{(m_i - j_i)!} \rho_i^{j_i}}{\sum_{k=1}^{h} \sum_{l=0}^{M-k} \binom{k+l-1}{l} \binom{n}{k} \frac{1}{n^{(k+l)}} \frac{(k+l)!}{\prod_{i=1}^{N} j_i!} \sum_{\substack{j_1=0,m_1 \\ j_2=0,m_2 \\ \ldots\ldots \\ j_N=0,m_N}} \prod_{i=1}^{N} \frac{m_i!}{(m_i - j_i)!} \rho_i^{j_i}}.$$

При оценке производительности РВС определяющим оказывается общее количество заявок, находящихся на обслуживании и в очередях, независимо от их типа. Общее количество заявок, находящихся в очередях, можно определить, используя понятия совокупности стационарных вероятностей $P_{k,l}$, средней длины очереди $l_{ср}$ и коэффициентов θ_i средних потерь производительности для клиентов каждого типа:

$$P_{k,l} = \sum_{j_1=0}^{k+l} \sum_{j_2=0}^{k+l-j_1} \cdots \sum_{j_N-1=0}^{k+l-R} P^{k,l}_{j_1,j_2,\ldots,j_{N-1},(k+l-R)}, \qquad (19)$$

$$l_{cp} = \sum_{k=1}^{h} \sum_{l=1}^{M-k} P_{k,l} \cdot l, \qquad (20)$$

$$\theta_i = 1 + \frac{l_{\text{ср}} \phi_i}{T_{oi} + \phi_i}. \qquad (21)$$

Тогда среднюю производительность РВС можно определить, используя выражение

$$\Pi_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^{N} \text{ш}_i \frac{m_i}{\theta_i}. \qquad (22)$$

Для оценки производительности системы по выражениям (20), (21) и (22) необходимо вычислить вероятности $P_{k,l}$. При выводе выражения (19) для $P_{k,l}$ предполагалось, что потоки запросов на обслуживание являются простейшими с параметрами λ_i, а время обслуживания запросов клиентов *i*-го типа сервером подчиняется экспоненциальному закону распределения с параметром μ_i. Для реальных вычислительных систем потоки отличаются от пуассоновских и экспоненциальных и зависят от архитектуры вычислительной системы и параметров выполняемых на ней алгоритмов [3]. Для РВС рассматриваемого типа в соответствии с выражениями (2), (3) и (4) значение параметра интенсивности λ_i вычисляется по формуле

$$\text{л}_i = \frac{1}{\frac{NO_{a_{lg}}}{\text{ш}_i} - \frac{V_{a_{lg}}}{\nu_i} - \frac{NO_{ctrl}}{\text{ш}_{srv}}},$$

где $I = 1, 2, 3, \ldots, N$.

Параметр интенсивности обслуживания μ_i определяется выражением

$$\text{м}_i = \frac{1}{\frac{V_{a_{lg}}}{\nu_i} + \frac{NO_{ctrl}}{\text{ш}_{srv}}}.$$

Полученное значение средней производительности РВС $\Pi_{\text{ср}}$ позволяет оценить среднее время решения задачи $T_{\text{ср}}$ в проектируемой распределенной вычислительной сети:

$$T_{\text{ср}} = \frac{NO_{a_{lg}}}{\Pi_{\text{ср}}}.$$

Предложенный подход позволяет осуществлять выбор эффективной структуры по производительности РВС, настроенной на решение сложных задач определенного класса с заданным ограничением на допустимое время решения $T_{\text{доп}}$.

Библиографический список

1. Вишневский, В. М. Теоретические основы проектирования компьютерных сетей / В. М. Вишневский. М. : Техносфера, 2003. 512 с.

2. Клейнрок, Л. Теория массового обслуживания / Л. Клейнрок ; пер. с англ. И. И. Грушко ; ред. В. И. Нейман. М. : Машиностроение, 1979. 432 с. : ил.

3. Хорошевский, В. Г. Архитектура вычислительных систем / В. Г. Хорошевский. М. : МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. 512 с.

S. N. Efimov, V. V. Tynchenko, V. S. Tynchenko

DESIGN OF COMPUTING NETWORK WITH EFFICIENT ARCHITECTURE FOR COMPLEX PROBLEMS DISTRIBUTED SOLVING

The choice problem of distributed computer network efficient architecture for parallel solving of complex problems is discussed. The queuing theory based analytical model of client-server computer network functioning is suggested. The method of computing network productivity estimation that allows to take into consideration characteristics of handling problem is developed.

УДК 539.374

С. И. Сенашов, О. В. Гомонова

ЭВОЛЮЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК РЕШЕНИЙ ДВУМЕРНЫХ УРАВНЕНИЙ ИДЕАЛЬНОЙ ПЛАСТИЧНОСТИ[1]

Известное решение Прандтля преобразовывается точечными симметриями. В результате получены новые классы точных решений уравнений пластичности. Подробно рассмотрены те решения, которые могут быть использованы для описания плоских течений, возникающих при сжатии пластического слоя жесткими плитами.

Рассмотрим систему дифференциальных уравнений пластичности [1] вида

$$\begin{cases} \sigma_x - 2k(\theta_x \cos 2\theta + \theta_y \sin 2\theta) = 0, \\ \sigma_y - 2k(\theta_x \sin 2\theta - \theta_y \cos 2\theta) = 0, \end{cases} \quad (1)$$

где σ – гидростатическое давление, θ – угол между осью Ox и первым главным направлением тензора напряжений, k – постоянная пластичности; нижний индекс означает дифференцирование по соответствующей переменной.

Для этих уравнений группа преобразований известна [2]. Она порождается следующими операторами:

$$\begin{gathered} X_1 = \partial_x, \quad X_2 = \partial_y, \\ X_3 = x\partial_x + y\partial_y, \quad X_4 = -y\partial_x + x\partial_y + \partial_\theta, \\ X_5 = \partial_\sigma, \quad X_6 = \xi_1\partial_x + \xi_2\partial_y - \\ -4\theta k\partial_\sigma - \frac{\sigma}{k}\partial_\theta, \quad X_+ = \xi\partial_x + \eta\partial_y, \end{gathered} \quad (2)$$

где $\xi_1 = x\cos 2\theta + y\sin 2\theta + y\frac{\sigma}{k}$, $\xi_2 = x\sin 2\theta - y\cos 2\theta - x\frac{\sigma}{k}$; (ξ, η) – произвольное решение линейной системы

$$\begin{cases} \xi_\theta - 2k(\xi_\sigma \cos 2\theta + \eta_\sigma \sin 2\theta) = 0, \\ \eta_\theta - 2k(\xi_\sigma \sin 2\theta - \eta_\sigma \cos 2\theta) = 0. \end{cases} \quad (3)$$

Для построения новых решений системы уравнений (1) используются преобразования симметрий, которые порождаются оператором X_+ из (2) и имеют вид

$$x' = x + a\xi(\sigma, \theta), \quad y' = y + a\eta(\sigma, \theta).$$

Для их построения необходимо знать точные решения системы дифференциальных уравнений (3). Несмотря на то, что эта система уравнений – линейная, построить точное решение, которое позволило бы получить хорошее преобразование, не так просто.

Приведем один из возможных способов построения точных решений системы (3).

Лемма. Система уравнений (3) имеет следующие решения:

$$\left(\cos 2\theta, \frac{\sigma}{k} - \sin 2\theta\right),$$

$$\left(\frac{\sigma}{k} + \sin 2\theta, -\cos 2\theta\right),$$

$$(\xi_\sigma, \eta_\sigma), \ (\eta + \xi_\sigma, -\xi + \eta_\theta),$$

$$\left(\begin{array}{l} 4k\theta\xi_\sigma + \frac{\sigma}{k}\xi_\theta + \xi\cos 2\theta + \eta\sin 2\theta + \eta\frac{\sigma}{k}, \\ 4k\theta\eta_\sigma + \frac{\sigma}{k}\eta_\theta + \xi\sin 2\theta - \eta s\cos 2\theta - \xi\frac{\sigma}{k} \end{array}\right),$$

где (ξ, η) – произвольное решение системы (3).

Доказательство этих фактов получается из таблицы коммутаторов операторов (2).

Эта лемма дает возможность получить серию новых точных решений системы уравнений (3). Для этого нужно выбрать конкретное ее решение и подействовать на него любым из преобразований T_1, T_2 или T_3, где

$$T_1 : (\xi, \eta) \to (\xi_\sigma, \eta_\sigma),$$

$$T_2 : (\xi, \eta) \to (\eta + \xi_\sigma, -\xi + \eta_\theta),$$

$$T_3 : (\xi, \eta) \to \left[\begin{array}{l} 4k\theta\xi_\sigma + \frac{\sigma}{k}\xi_\theta + \xi\cos 2\theta + \\ +\eta\sin 2\theta + \eta\frac{\sigma}{k}, \ 4k\theta\eta_\sigma + \frac{\sigma}{k}\eta_\theta + \\ +\xi\sin 2\theta - \eta s\cos 2\theta - \xi\frac{\sigma}{k} \end{array}\right].$$

Выберем в качестве «затравочного» очевидное решение системы (3): $O = (1, 0)$. Подействуем на него преобразованиями T_1, T_2, T_3. Получаем, соответственно,

[1] Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 07-01-08172).

решения $T_1(O)=A=(0,0)$, $T_2(O)=B=(0,-1)$ и $T_3(O)=H_1=\left(\cos 2\theta,\ \sin 2\theta-\dfrac{\sigma}{k}\right)$. Из этих решений наиболее интересным представляется последнее. Применим к нему преобразования T_1, T_2, T_3. Получаем снова решения системы (3) и т. д.. Наиболее перспективным, по нашему мнению, направлением по построению новых решений является действие преобразованием T_3, а также различные комбинации преобразований T_2 и T_3. Этот процесс можно представить в виде «дерева» решений (рис. 1).

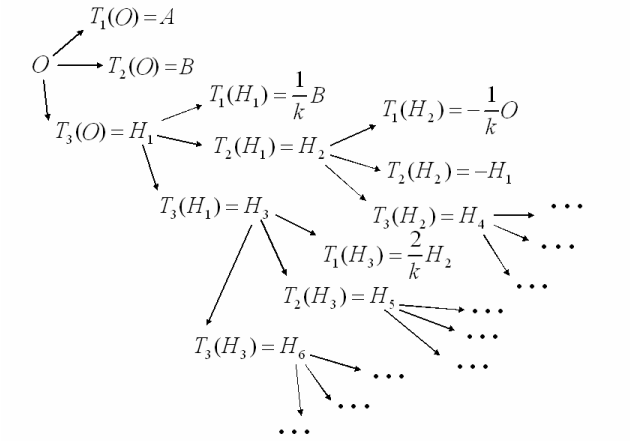


Рис. 1

Отметим некоторые из получающихся новые решений H_i:

$$H_1=\left(\cos 2\theta;\ \sin 2\theta-\frac{\sigma}{k}\right),$$

$$H_2=\left(-\frac{\sigma}{k}-\sin 2\theta;\ \cos 2\theta\right),$$

$$H_3=\begin{pmatrix}-2\dfrac{\sigma}{k}\sin 2\theta-\left(\dfrac{\sigma}{k}\right)^2+1;\\ -4\theta+2\dfrac{\sigma}{k}\cos 2\theta\end{pmatrix}.$$

Рассмотрим известное решение Прандтля системы уравнений пластичности (1):

$$\sigma=-kx+k\sqrt{1-y^2},\ \ y=\cos 2\theta.$$

Решение Прандтля можно использовать для описания течения пластического материала при сжатии слоя этого материала между параллельными жесткими и шероховатыми плитами. Это же решение может быть записано в виде

$$\begin{aligned}&\sigma=-kx\mp k\sqrt{1-y^2},\\ &\theta=\pm\frac{1}{2}\arccos y+\pi n.\end{aligned}\qquad(4)$$

Решение (4) имеет два семейства характеристик, имеющих следующий вид:

$$x=-2\theta-\sin 2\theta+C,\quad y=\cos 2\theta,\qquad(5)$$

(вдоль которого выполнено условие $\dfrac{\sigma}{2k}-\theta=-\dfrac{C}{2}$),

$$x=2\theta-\sin 2\theta+C,\quad y=\cos 2\theta,\qquad(6)$$

(вдоль которого выполнено условие $\dfrac{\sigma}{2k}+\theta=-\dfrac{C}{2}$).

Эти характеристики в теории пластичности являются линиями скольжения, т. е. линиями, вдоль которых действует максимальное касательное напряжение. Поле (5)–(6) образовано двумя ортогональными семействами циклоид с радиусом производящего круга, равным 1.

Графики первого (5) и второго (6) семейств характеристик приведены на рис. 2. График первого семейства характеристик показан на рисунке сплошной линией, график второго семейства – пунктиром (при построении было выбрано значение $C=0$).

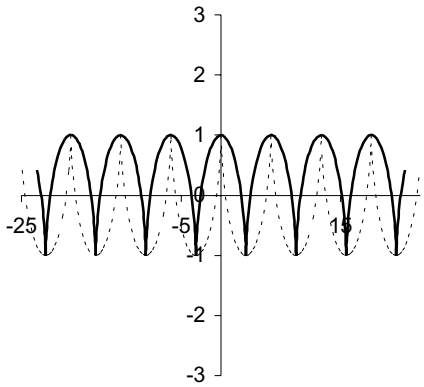


Рис. 2

Как уже было отмечено, уравнения теории пластичности допускают группу точечных симметрий, которые переводят решения системы снова в решения этой же системы, а характеристики – в характеристики.

Рассмотрим, как одно из таких преобразований действует на характеристики решения Прандтля. Выберем преобразование вида

$$H_1=\left(\cos 2\theta,\ \sin 2\theta-\frac{\sigma}{k}\right).$$

Подействуем этим преобразованием на характеристики (5) и (6). Получаем, соответственно

$$\begin{aligned}&x'=-2\theta-\sin 2\theta+a\cos 2\theta+C,\\ &y'=\cos 2\theta+a\left(\sin 2\theta-\frac{\sigma}{k}\right)\end{aligned}\qquad(7)$$

и

$$\begin{aligned}&x'=2\theta-\sin 2\theta+a\cos 2\theta+C,\\ &y'=\cos 2\theta+a\left(\sin 2\theta-\frac{\sigma}{k}\right),\end{aligned}\qquad(8)$$

где $C-$ произвольная постоянная.

Тогда параметрические уравнения преобразованных характеристик (с учетом соотношений $\dfrac{\sigma}{2k}-\theta=-\dfrac{C}{2}$ и $\dfrac{\sigma}{2k}+\theta=-\dfrac{C}{2}$, соответственно) имеют вид

$$\begin{aligned}&x'=-2\theta-\sin 2\theta+a\cos 2\theta+C,\\ &y'=\cos 2\theta+a(\sin 2\theta-2\theta+C),\end{aligned}\qquad(9)$$

и

$$\begin{aligned}&x'=2\theta-\sin 2\theta+a\cos 2\theta+C,\\ &y'=\cos 2\theta+a(\sin 2\theta+2\theta+C).\end{aligned}\qquad(10)$$

Найдем огибающие этих семейств характеристик. Напомним, что *огибающей* семейства кривых на плоскости называется кривая, которая в каждой точке касается одной из кривых семейства [3].

Рассмотрим уравнения характеристик (9). Необходимое условие существования огибающей:

$$\varphi(\theta, C) = \begin{vmatrix} x'_C & y'_C \\ x'_\theta & y'_\theta \end{vmatrix} = 0.$$

Имеем выражение

$$\varphi(\theta, C) = 2a^2 \sin 2\theta + 4a\cos 2\theta - 2\sin 2\theta = 0.$$

То есть

$$a^2 \sin 2\theta + 2a\cos 2\theta - \sin 2\theta = 0 \text{ и } \operatorname{tg} 2\theta = \frac{2a}{(1-a^2)}.$$

Таким образом,

$$\theta = \begin{cases} \frac{1}{2}\operatorname{arctg}\frac{2a}{(1-a^2)} + \frac{\pi}{2}n & \text{при } a \neq \pm 1, \\ \frac{\pi}{4} + \frac{\pi}{2}n & \text{при } a = \pm 1 \end{cases} \quad (11)$$

Достаточным признаком существования огибающей является выполнение условия

$$\Delta = \vec{r}_\theta \varphi'_C - \vec{r}_C \varphi'_\theta \neq 0,$$

где $\vec{r} = (x(\theta, C),\ y(\theta, C))$.

Проверим выполнение достаточного признака:

$$\Delta = -\left(\left(4a^2 - 4\right)\cos 2\theta - 8a\sin 2\theta;\ \left(4a^3 - 4a\right)\cos 2\theta - 8a^2 \sin 2\theta\right).$$

Достаточный признак выполняется, если

$$\theta \neq \frac{1}{2}\operatorname{arctg}\frac{a^2 - 1}{2a} + \frac{\pi}{2}n,\ n \in Z.$$

Очевидно, что полученное значение для угла θ из системы (11) удовлетворяет последнему условию. То есть огибающие рассматриваемого семейства характеристик существуют при различных значениях параметра a. Найдем их уравнения.

Исключим константу C из уравнений (9). Получим следующее равенство:

$$ax' - y' = -2a\sin 2\theta + (a^2 - 1)\cos 2\theta. \quad (12)$$

Подставив в уравнение (12) выражения для θ из (11), получим

$$ax' - y' = \begin{cases} -2a\sin\left(\operatorname{arctg}\frac{2a}{(1-a^2)} + \pi n\right) + \\ (a^2 - 1)\cos\left(\operatorname{arctg}\frac{2a}{(1-a^2)} + \pi n\right) & \text{при } a \neq \pm 1, \\ \mp 2\cos \pi n & \text{при } a = \pm 1. \end{cases}$$

Для четных значений числа n получаем

$$y = ax + a^2 + 1, \quad (13)$$

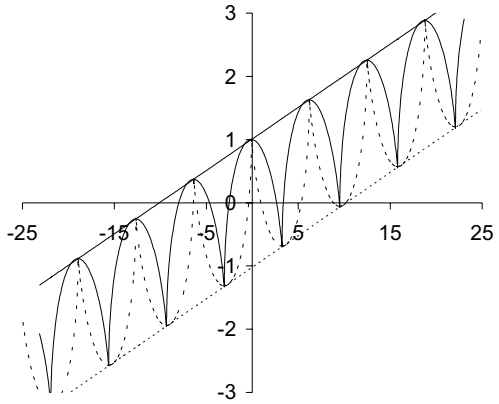
для нечетных значений n имеет

$$y = ax - a^2 - 1. \quad (14)$$

Выражение (13) представляет собой уравнение огибающих для первого преобразованного семейства характеристик (9) при $|a| < 1$. Выражение (14) при этих значениях параметра для данного семейства – линии возврата. При $|a| > 1$ наоборот, выражение (13) представляет собой уравнения линий возврата, выражение (14) – уравнение огибающих.

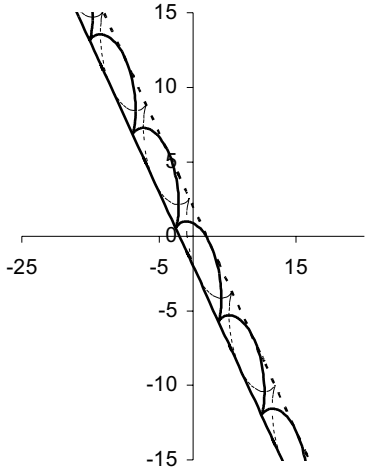
Проведя аналогичные рассуждения для второго семейства характеристик (10), получаем те же выражения (13) и (14) в результате поиска огибающей. Но в этом случае при $|a| < 1$ уравнения огибающих имеют вид (14), а (13) представляет собой линии возврата для второго семейства характеристик. При значениях параметра $|a| > 1$ уравнения огибающих имеют вид (13), уравнения линий возврата – (14).

Построим графики характеристик первого семейства (9) и второго семейства (10) и огибающих для характеристик первого и второго семейств (рис. 3, 4) при различных значениях группового параметра a и при $C = 0$. Здесь сплошной линией показаны графики характеристик первого семейства и линий (13), пунктиром – графики второго семейства характеристик и линий (14).



$a = 0{,}1$

Рис. 3



$a = -1$

Рис. 4

Рассмотрим еще одно решение системы линейных уравнений (3) вида

$$\begin{pmatrix} a(\theta)\sin\left(\frac{\sigma}{2k}\right) + b(\theta)\cos\left(\frac{\sigma}{2k}\right), \\ A(\theta)\sin\left(\frac{\sigma}{2k}\right) + B(\theta)\cos\left(\frac{\sigma}{2k}\right) \end{pmatrix}, \quad (15)$$

где функции $a(\theta)$, $b(\theta)$, $A(\theta)$, $B(\theta)$ можно определить из решения соответствующих систем обыкновенных дифференциальных уравнений.

Выясним, как действует преобразование (15) на характеристики (5) и (6). Подставим (15) в систему линейных уравнений (3). В результате получим систему уравнений для определения функций $a(\theta)$, $b(\theta)$, $A(\theta)$, $B(\theta)$, имеющую вид

$$\begin{aligned} &a'(\theta)+b(\theta)\cos 2\theta+B(\theta)\sin 2\theta=0,\\ &b'(\theta)-a(\theta)\cos 2\theta-A(\theta)\sin 2\theta=0,\\ &A'(\theta)+b(\theta)\sin 2\theta-B(\theta)\cos 2\theta=0,\\ &B'(\theta)-a(\theta)\sin 2\theta+A(\theta)\cos 2\theta=0. \end{aligned} \tag{16}$$

Сделаем следующие преобразования: продифференцируем каждое из уравнений (16) по θ, тогда с учетом уравнений (16) получим следующие системы уравнений:

$$\begin{cases} a''(\theta)+a(\theta)+2A'(\theta)=0,\\ A''(\theta)+A(\theta)-2a'(\theta)=0 \end{cases} \tag{17}$$

и

$$\begin{cases} b''(\theta)+b(\theta)+2B'(\theta)=0,\\ B''(\theta)+B(\theta)-2b'(\theta)=0. \end{cases} \tag{18}$$

Будем искать решение системы (17):

$$a(\theta)=Ce^{\lambda\theta},\ A(\theta)=De^{\lambda\theta},$$

где C, D, $\lambda-$ постоянные.

Тогда для определения C, D, λ получим следующие алгебраические уравнения:

$$C\lambda^2+C+2D\lambda=0,$$

$$D\lambda^2+D-2C\lambda=0.$$

Из этих уравнений без труда получаем

$$C_{1,2}=\pm iD,\ \lambda_{1,2}=i(1\pm\sqrt{2}),\ i^2=-1.$$

В силу этого окончательное (действительное) решение системы (17) имеет вид

$$a(\theta)=C_1\cos(1\pm\sqrt{2})\theta-C_2\sin(1\pm\sqrt{2})\theta,$$

$$A(\theta)=C_1\sin(1\pm\sqrt{2})\theta+C_2\cos(1\pm\sqrt{2})\theta,$$

где C_1, C_2- произвольные постоянные.

Тогда согласованное с ним решение системы (18), с учетом (16) запишется следующим образом:

$$b(\theta)=(1\pm\sqrt{2})\times$$

$$\times\left(C_2\cos(1\mp\sqrt{2})\theta-C_1\sin(1\mp\sqrt{2})\theta\right),$$

$$B(\theta)=(1\pm\sqrt{2})\times$$

$$\times\left(C_2\sin(1\mp\sqrt{2})\theta+C_1\cos(1\mp\sqrt{2})\theta\right).$$

Для простоты и наглядности рассмотрим случай, когда $C_2=0$, выбираем также всюду нижний знак, тогда (15) запишется в виде

$$\xi=\cos(1-\sqrt{2})\theta\sin\left(\frac{\sigma}{2k}\right)-$$

$$-(1-\sqrt{2})\sin(1+\sqrt{2})\theta\cos\left(\frac{\sigma}{2k}\right),$$

$$\eta=\sin(1-\sqrt{2})\theta\sin\left(\frac{\sigma}{2k}\right)+$$

$$+(1-\sqrt{2})\cos(1+\sqrt{2})\theta\cos\left(\frac{\sigma}{2k}\right).$$

Теперь выписываем преобразованные уравнения характеристик (5) и (6). Получаем соответственно

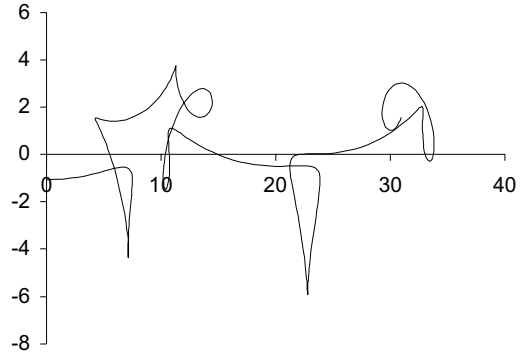
$$\begin{aligned} x'&=-2\theta-\sin 2\theta+a\left(\cos(1-\sqrt{2})\theta\sin\left(\theta-\frac{C}{2}\right)\right)-\\ &-a\left((1-\sqrt{2})\sin(1+\sqrt{2})\theta\cos\left(\theta-\frac{C}{2}\right)\right),\\ y'&=\cos 2\theta+a\left(\sin(1-\sqrt{2})\theta\sin\left(\theta-\frac{C}{2}\right)\right)+\\ &+a\left((1-\sqrt{2})\cos(1+\sqrt{2})\theta\cos\left(\theta-\frac{C}{2}\right)\right) \end{aligned} \tag{19}$$

для первого семейства характеристик и

$$\begin{aligned} x'&=2\theta-\sin 2\theta+a\left(\cos(1-\sqrt{2})\theta\sin\left(-\theta-\frac{C}{2}\right)\right)-\\ &-a\left((1-\sqrt{2})\sin(1+\sqrt{2})\theta\cos\left(-\theta-\frac{C}{2}\right)\right),\\ y'&=\cos 2\theta+a\left(\sin(1-\sqrt{2})\theta\sin\left(-\theta-\frac{C}{2}\right)\right)+\\ &+a\left((1-\sqrt{2})\cos(1+\sqrt{2})\theta\cos\left(-\theta-\frac{C}{2}\right)\right) \end{aligned} \tag{20}$$

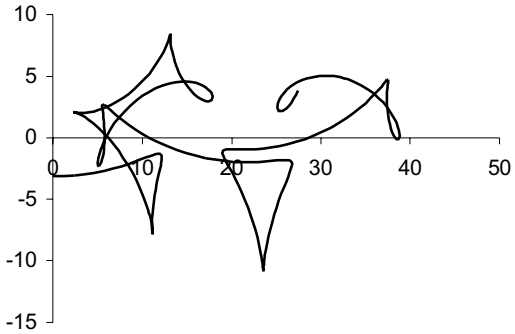
для второго семейства характеристик.

Приведем графики характеристик (19) для различных значений параметра a (рис. 5, 6).



$a = 5$

Рис. 5



$a = 10$

Рис. 6

Библиографический список

1. Ишлинский, А. Ю. Математическая теория пластичности / А. Ю. Ишлинский, Д. Д. Ивлев. М. : Физматлит, 2001.

2. Киряков, П. П. Приложение симметрий и законов сохранения к решению дифференциальных уравнений / П. П. Киряков, С. И. Сенашов, А. Н. Яхно. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2001.

3. Математическая энциклопедия / под ред. И. М. Виноградова, Т. 3 М. : «Советская энциклопедия», 1982.

S. I. Senashov, O. V. Gomonova

EVOLUTION OF THE CHARACTERISTICS OF SOLUTIONS TO THE 2-DIMENSIONAL EQUATIONS OF IDEAL PLASTICITY

The well-known Prandtl's solution is transformed by point symmetries. As the result the new classes of the exact solutions to the equations of plasticity are received. Solutions which can be used for the description of plane flows arising from pressure of a plastic layer by rigid plates are considered in details.

УДК681.34

Н. А. Алексеев, О. В. Богданова

АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА ОПЕРАТИВНОГО ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Рассматривается программный комплекс автоматизированной системы оперативного производственного планирования и управления, базирующийся на новой двухуровневой модели. Предложен алгоритм решения задачи межцехового планирования.

Большая часть предприятий с дискретным производством как в России, так и за рубежом относится к так называемым позаказным производствам, выпускающим свою продукцию мелкими сериями или даже единичными экземплярами. Позаказное производство – это разработка под заказ определенного изделия, сборка готового изделия под заказ или производство ассортимента продукции, обладающей индивидуальными особенностями согласно требованиям заказчика. Наиболее распространенными средствами оперативного планирования и расчета расписаний в отечественном действующем производстве на сегодняшний день являются сетевые графики, бумажные и электронные таблицы, доски планирования и т. п. Но объем информации, которую необходимо обрабатывать для выработки управленческих решений, является огромным даже для небольших предприятий, и человеку без вспомогательных средств такая обработка не под силу. К тому же достаточно часто составленные вручную оперативный план и производственные расписания нарушаются срочными заказами, переделкой брака, больничными листами, поломкой оборудования, непредвиденным изменением спроса и т. д. Единственный выход – строить динамичные и гибкие производства на базе современных автоматизированных информационных систем управления, позволяющих снижать себестоимость выпускаемой продукции, сокращать издержки и производственные потери, сокращать объемы материально-технических запасов, учитывать возможные будущие отклонения от стандартных ситуаций.

При разработке программного комплекса автоматизированной системы оперативного производственного планирования и управления использовались современные методики оптимизации расписаний, в частности, применительно к конкретному производственному процессу, методы управления сроками выполнения заказа (рис. 1).

Для дальнейшего рассмотрения проблемы разработки подобных информационных систем сформулируем постановку задачи.

Имеются работы $j = 1,..., n$ и m машин $M_1,..., M_m$. Работа j состоит из n_j операций $O_{1j}, ..., O_{n_j}$. 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 задача составления плана проекта при ограниченных ресурсах (RCPSP – The Resource-Constrained Project Scheduling Problem) 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

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

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.

Рис. 1. Общая схема управления сроками заказа
(показаны не все взаимодействия процессов и не все потоки данных между процессами)

При разработке программного комплекса по составлению производственно-цеховых расписаний в основу был положен метод планирования APS, так как согласно утверждениям, сегодня наиболее оптимальным и эффективным методом планирования деятельности предприятий, работающих «под заказ», является именно метод синхронного планирования (Advanced Planning and Scheduling, APS). Разработанный в середине 90-х гг. прошлого столетия данный метод считается серьезным прорывом в науке управления производством и запасами. При планировании всего производственного процесса появляется возможность за считанные секунды определить реалистичный график отгрузки заказов с учетом всех постоянно изменяющихся условий – как внутренних, так и внешних. Метод APS, к примеру, позволяет менеджерам по продажам при приеме заказа точно назвать срок его выполнения и дату отгрузки с учетом постоянно изменяющейся ситуации как внутри предприятия, так и за его пределами.

APS – производная стандартной системы управления производством. APS одномоментно (синхронно) планирует необходимые материалы и ресурсы, принимая во внимание доступные мощности при планировании движения материалов и имея в виду, что все ресурсы работают в условиях ограниченных мощностей. Поэтому каждая операция планируется в соответствии с необходимыми потребностями – в людях, машинах и т. п. В результате получаются производственные графики, полностью сбалансированные с доступными материалами и мощностями. APS устраняет нереалистичные допущения стандартного планирования. Поскольку время производства меняется, оно, как правило, не может быть определено заранее, и точный производственный план составить невозможно. В противоположность этому планы, рассчитываемые с использованием APS-метода, максимально приближены к реальности, так как постоянно пересчитывают время производства, моделируя выполнение каждой производственной операции. При этом в общем случае начальные данные представляют собой следующий набор информации:

– план производства/прогноз/заказы клиентов;

– спецификации и пооперационные техпроцессы производимых изделий;

– уровень запасов по складам и местам складирования;

– ожидаемые приходы от поставщиков и из производства, ожидаемые отгрузки потребителям;

– ресурсы и группы ресурсов.

Таким образом, использованный метод APS позволяет планировать выполнение заказов, оптимально срокам нахождения каждого заказа на протяжении всего производственного цикла, что соответствует схеме, представленной на рис. 1. Управление сроками заказа включает в себя процессы, обеспечивающие своевременное завершение заказа. Диаграмма зависимостей для этих процессов с их входами, выходами и прочими процессами в области знаний приведена на рис. 2. Процессы управления сроками заказа включают:

– определение состава операций (конкретных плановых операций, которые необходимо выполнить для получения различных результатов заказа);

– определение взаимосвязей операций (выявление и документирование зависимостей между плановыми операциями);

– оценку ресурсов операции (типов и количества ресурсов, необходимых для выполнения каждой плановой операции);

– оценку длительности операций (количество рабочих периодов (смен), необходимых для выполнения отдельных операций);

– разработку расписания (составление расписания выполнения заказа с учетом последовательностей операций, их длительности, требований к ресурсам и ограничений на сроки);

– управление расписанием (изменениями расписания выполнения заказа).

Эти процессы взаимодействуют друг с другом, а также с процессами из других областей производственного процесса. Каждый процесс может включать в себя действия одного, нескольких лиц или групп лиц, в зависимости от потребностей заказа. Хотя процессы представлены в виде дискретных элементов с четко выделяемыми границами, на практике они могут накладываться друг на друга и взаимодействовать.

В некоторых заказах, особенно небольших, определение взаимосвязей операций, оценка ресурсов операций, оценка длительности операций и разработка расписания связаны друг с другом настолько тесно, что они рассматриваются как единый процесс, который может быть выполнен одним человеком за относительно короткое время. Хотя работа для выполнения шести процессов управления сроками заказа и не представлена в программном комплексе в виде обособленного процесса, ей предшествует планирование, выполняемое специалистами предприятий, осуществляющих деятельность в сфере деревообработки. В ходе планирования разрабатывается план управления расписанием, определяющий формат и критерии разработки и контроля расписания заказа.

Подводя итоги, следует отметить, что в процессе разработки программного комплекса были достигнуты следующие результаты.

Использована новая двухуровневая (для межцехового планирования и цеховой диспетчеризации) постановка задачи составления производственных планов и межцеховых расписаний дискретных производств позаказного типа, оптимальных относительно критерия минимума срока окончания нового заказа с учетом факторов неопределенности и применением циклической альтернативной сетевой модели.

Реализован новый алгоритм решения задачи межцехового планирования – алгоритм отыскания в момент поступления нового заказа на изготовление какого-либо изделия минимального допустимого срока окончания работ по данному заказу при ограничениях на производствен-

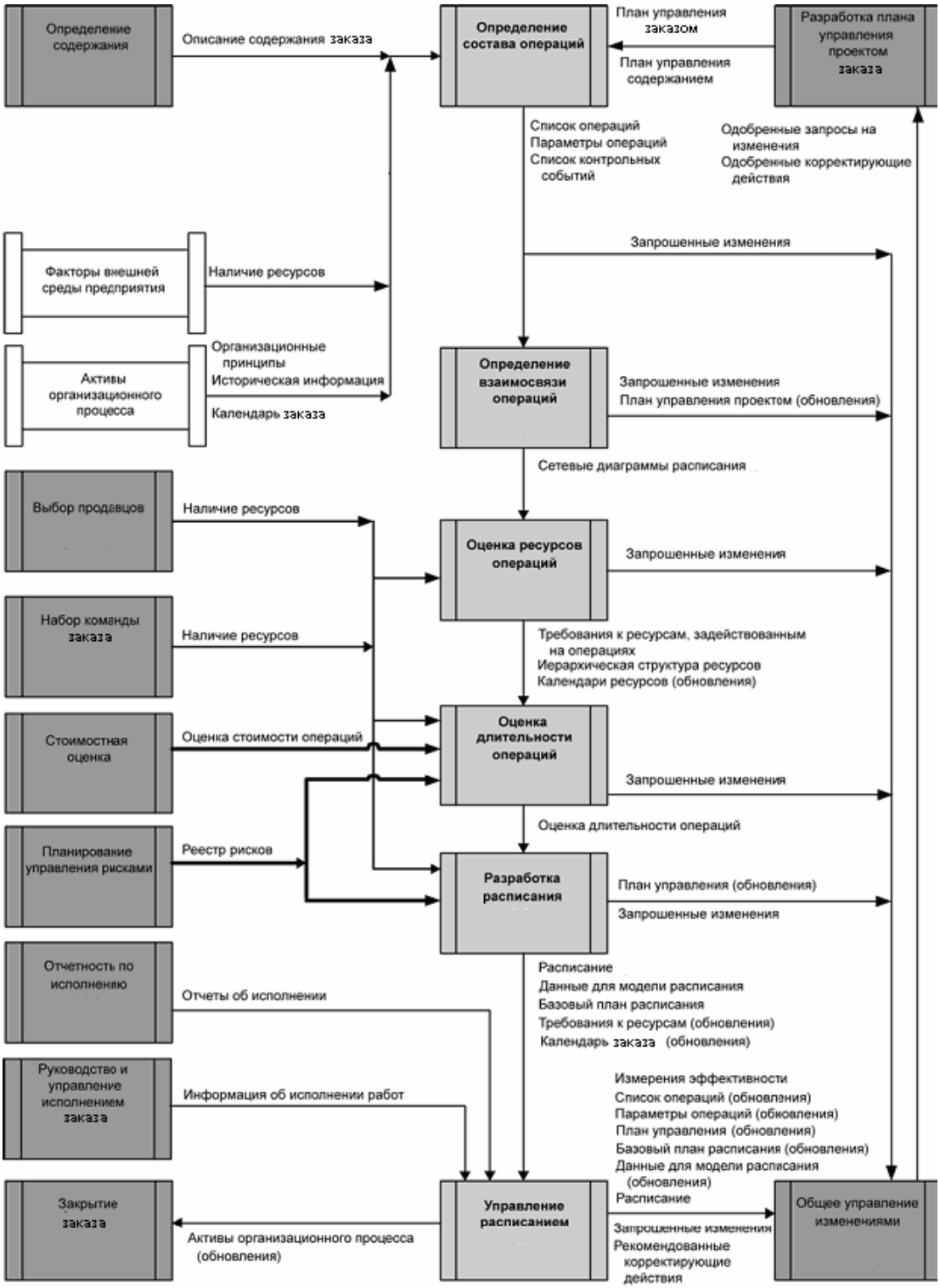


Рис. 2. Диаграмма зависимостей процессов для управления сроками заказа

ные ресурсы с учетом факторов неопределенности.

N. A. Alexeev, O. V. Bogdanova

AUTOMATIK SYSTEM OF OPERATIVE PRODUKTION PLANNING AND MANAGEMENT

Program complex of the manufacture resource scheduling automated system based on the new two-level model is considered. The solved algorithm for the manufacture resource scheduling problem is developed.

УДК 681.3.06:519.876

Е. П. Моргунов

СИСТЕМА ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ: ПРИНЦИПЫ РАЗРАБОТКИ, ТРЕБОВАНИЯ И АРХИТЕКТУРА

Сформулированы принципы разработки и требования к системе поддержки принятия решений при исследовании эффективности сложных систем. Предложена архитектура такой системы и обоснован выбор программных средств ее реализации.

Управление сложными системами предполагает, в том числе, и управление их эффективностью. «Эффективность – это наиболее общее, определяющее свойство любой целенаправленной деятельности, которое объективно выражается степенью достижения цели с учетом затрат ресурсов и времени» [1. С. 59]. В работе [2. С. 71–72] обобщенный показатель эффективности большой системы в наиболее общей форме предлагается строить как некоторую функцию или функционал вида

$$W = \Phi(Y_к, Y_н, U_к, U_н),$$

где $Y_к$ – возможный или фактически достигнутый полезный эффект (конечный результат) функционирования и развития системы; $Y_н$ – целевой полезный эффект (необходимый конечный результат) функционирования и развития системы; $U_к$ – возможные или фактические затраты количества труда (живого и прошлого) для получения $Y_к$; $U_н$ – минимальные необходимые затраты количества труда (живого и прошлого) для получения $Y_н$.

Если ($Y_к$, $U_к$) рассматриваются как возможные величины, то речь идет о прогнозировании эффективности, а в случае когда ($Y_к$, $U_к$) фактически полученные, то показатель W будет отражать фактически достигнутую эффективность за некоторый период функционирования системы.

Применяемые методы оценки эффективности систем отличаются большим разнообразием. Среди них есть как детерминированные методы, так и стохастические. В технических системах часто применяются стохастические методы. Например, в работе [2] предлагается формула обобщенного показателя эффективности

$$W = (W_н, W_п, W_э),$$

где $W_н$, $W_п$, $W_э$ – комплексные показатели, соответственно, целевой надежности системы, целевой производительности системы и целевой экономичности системы.

Определять, например, показатель эффективности $W_э$ предлагается по формуле

$$W_э = \int_0^\infty u dF_к(u),$$

где u – переменная, выражающая возможные значения расхода ресурсов $U_к$ на получение конечного результата $Y_к$; $F_к(u)$ – функция распределения случайной величины $U_к$.

Задача получения аналитических выражений для подобных функций решается на основе аналитических и статистических подходов. Однако выбор вида функциональной зависимости является неформализуемым шагом.

В экономических исследованиях часто используются производственные функции [3], характеризующие максимально возможный объем выпуска y продукта в зависимости от используемого объема ресурсов $X = (x_1, ..., x_m)$:

$$y = f(X).$$

Такая функция позволяет описывать только однопродуктовые технологии. В литературных источниках предложены различные виды производственных функций [3].

Одним из наиболее распространенных методов оценки эффективности систем является метод, известный в России под названием «анализ среды функционирования» (АСФ) [4]. Он был разработан в 1978 г. в США [5] и с тех пор завоевал широкую популярность на Западе. Там он известен как Data Envelopment Analysis (DEA). Метод АСФ (DEA) применяется для оценки эффективности функционирования однородных объектов в таких областях, как экономика, социальная сфера, административное управление и даже спорт.

Метод АСФ (DEA) основан на построении так называемой границы эффективности в многомерном пространстве входных и выходных переменных, описывающих исследуемые объекты. Эта граница строится по реальным данным и представляет собой, по сути, оценку производственной функции для случая, когда выход является векторным. Степень эффективности зависит от расстояния между объектом и границей эффективности.

В качестве иллюстрации приведем описание одной из моделей метода. Пусть требуется определить показатель эффективности каждого из n объектов (это могут быть предприятия, организации, университеты, банки и т. д.). Для описания каждого объекта o_j, $j = \overline{1,n}$, служит пара векторов (x_j, y_j). При этом вектор $x_j = (x_{j1}, ..., x_{ji}, ..., x_{jm})^T$ содержит входные показатели (входы) для объекта o_j, а вектор $y_j = (y_{j1}, ..., y_{jr}, ..., y_{js})^T$ содержит выходные показатели (выходы) для объекта o_j. Тогда матрица $X = (x_j)$, имеющая размерность m ”” n, содержит вектор-столбцы с входными данными для всех n объектов, а матрица $Y = (y_j)$, имеющая размерность s ”” n, содержит вектор-столбцы с выходными данными для всех n объектов. Модель имеет следующий вид [6. С. 43]:

$$\begin{gathered} \min_{\theta,\lambda}(\theta), \\ -y_j + Y\lambda \geq 0, \\ \theta x_j - X\lambda \geq 0, \\ \lambda \geq 0. \end{gathered} \qquad (1)$$

Скаляр и и является мерой эффективности j-го объекта. Важно отметить, что и О (0; 1]. Критерием эффективности объекта является условие и = 1. Объекты, имеющие такое значение показателя и, считаются эффектив-

ными и находятся, как принято говорить, на *границе эффективности*. Аналогичная задача решается для каждого объекта, т. е. *n* раз.

Для объектов, имеющих и < 1, предлагаются рекомендуемые (целевые) значения показателей, достигнув которых, эти объекты также окажутся на границе эффективности. Определение целевых значений переменных для неэффективного объекта производится путем *проецирования* данного объекта на границу эффективности. Проецирование обеспечивается за счет присутствия в модели (1) коэффициента и при векторе x_j и наличием ограничения $\lambda \geq 0$. Вектор констант $\lambda = (\lambda_1, ..., \lambda_j, ..., \lambda_n)^T$ позволяет сформировать неотрицательную линейную комбинацию объектов, которая и будет являться гипотетическим (и при этом эффективным) целевым объектом для того реального объекта, который оказался неэффективным.

Граница эффективности в данном случае будет иметь вид выпуклого конуса в пространстве входных и выходных переменных R^{m+s}. Она определяется эффективными (крайними) точками. Модель (1) называется *ориентированной на вход*. Это объясняется тем, что коэффициент и оказывает влияние на вектор входных переменных. Модель, *ориентированная на выход*, может быть построена аналогично [6. С. 58].

Еще одним граничным методом, но использующимся не столь часто, как метод АСФ (DEA), является метод оценки стохастической производственной границы – Stochastic Frontier Analysis (SFA). Его предложили D. J. Aigner и S. F. Chu [7. С. 184]. Отличительной чертой метода является вероятностный характер производственной границы, что позволяет учесть наличие случайных ошибок в значениях входных переменных. Однако метод позволяет работать только со скалярным выходом.

В реальных задачах зачастую исследуются сложные системы с большим числом подсистем и элементов (объектов). Для решения подобных задач необходимо программное обеспечение (ПО), реализующее те или иные методы исследования эффективности систем.

Большинство широко доступных программных продуктов, предназначенных для оценки эффективности систем, реализуют именно метод АСФ (DEA). Есть ПО, реализующее метод SFA [7]. Программных продуктов, реализующих другие методы оценки эффективности и спроектированных в расчете на широкое применение, нам не известно. Детальный обзор существующего зарубежного ПО, реализующего метод АСФ (DEA), представлен в работе [8]. Известны и две разработки российских специалистов: EffiVision и KonSi-DEA. Основные инструменты, применяемые для разработки подобных программных продуктов, – это языки программирования Fortran, C/C++, Visual Basic.

Существующие программные продукты имеют целый ряд достоинств в том, что касается разнообразия реализованных моделей метода АСФ (DEA) и интерфейса пользователя. Однако им присущи и недостатки, в частности, эти программные продукты:

– не являются комплексными в плане набора реализованных методов (все они реализуют только какой-то один метод исследования эффективности);

– не являются комплексными и в плане реализации всех *стадий* исследования эффективности. Такими стадиями можно считать оценку достигнутого уровня эффективности, объяснение достигнутого уровня эффективности, прогнозирование будущего уровня, выдачу рекомендаций по способам достижения требуемого уровня эффективности (за счет перераспределение ресурсов между подсистемами). Существующие программные продукты ограничиваются, в основном, оценкой текущего уровня эффективности и выдачей рекомендуемых значений входных и выходных показателей системы;

– не позволяют описать структуру сложной системы и, проведя исследование эффективности всех подсистем, интегрировать полученные оценки в единую оценку (или группу оценок) эффективности сложной системы, что было бы наглядно для пользователя (системного аналитика или лица, принимающего решения);

– не используют «большие» системы управления базами данных (СУБД), такие как Oracle, PostgreSQL, MySQL и другие, для хранения данных и манипулирования ими. Это снижает надежность операций с данными, а также лишает пользователя всех других преимуществ, которые дает использование СУБД.

Таким образом, есть необходимость в разработке системы поддержки принятия решений (СППР), которая могла бы служить в качестве аналитического и советующего инструмента при проведении комплексных исследований эффективности сложных систем. На данном этапе нами предложены основные принципы, которых следует придерживаться при разработке СППР, а также сформулированы конкретные требования, которые должны предъявляться к СППР, чтобы эти принципы были реализованы на практике (отметим, что четкой границы между принципами и требованиями нет). Предложена также архитектура программного продукта, в которой показаны основные подсистемы СППР и отражены взаимосвязи между ними.

К числу потенциальных пользователей СППР относятся [9]:

– руководитель предприятия (подразделения), заинтересованный в наличии инструментария, который может помочь в выявлении резервов повышения эффективности, в прогнозировании эффективности при проведении организационных изменений;

– исследователь-практик (системный аналитик), которому в дополнение к функциям программного продукта, требующимся руководителю, может быть очень полезным также наличие в СППР типовых сценариев для исследования эффективности систем в типичных ситуациях. Такие сценарии – это совокупности процедур (функций) программного продукта, активизируемые минимальными действиями пользователя и позволяющие решать типовые задачи без больших затрат времени и усилий;

– ученый, которому необходима возможность выполнения исследовательских задач, например, проведения многовариантных расчетов на основе сгенерированных искусственных наборов данных;

– студент, которому нужен инструмент, позволяющий освоить теорию и практику методов исследования эффективности сложных систем.

Предлагаемые принципы разработки СППР служат в качестве главного регулятора всего процесса проектиро-

вания [9]. Следование им позволит, на наш взгляд, получить действительно полезный инструмент поддержки принятия решений при исследовании эффективности сложных систем.

1. *Реализация подхода «описание – объяснение – предсказание – рекомендации».* Описание означает получение оценок эффективности исследуемой системы. Для объяснения полученных результатов необходимо провести исследование эффективности на уровне подсистем. Прогнозирование эффективности – предсказание – предусматривает, в частности, анализ тенденций изменения эффективности в подсистемах. Рекомендации должны включать в себя не только указание целевых (конечных) значений показателей для неэффективных систем и подсистем, но также и возможную траекторию перевода системы из неэффективного состояния в эффективное.

2. *Включение в СППР средств для структуризации процесса проведения исследования в соответствии со структурой исследуемой системы и задачами исследования.* Очевидно, что эффективность сложной системы зависит от эффективности функционирования ее подсистем. При этом эффективность подсистемы может быть рассмотрена с различных позиций (как с точки зрения вышестоящей системы, так и с точки зрения самой исследуемой подсистемы) и в различных сферах ее деятельности (например, эффективность кафедр в вузе может быть оценена как в сфере научной деятельности, так и в сфере образовательной деятельности).

3. *Реализация идеи многовариантных расчетов.* Пользователь должен иметь возможность использовать различные методы (модели) для получения оценок эффективности исследуемых объектов, варьируя при этом наборы и значения переменных и параметров. Сопоставление полученных многовариантных результатов должно производиться в автоматизированном режиме.

4. Обеспечение возможности настройки СППР в соответствии с потребностями пользователя и уровнем его квалификации.

5. *Реализация широкого спектра методов исследования эффективности, возможность расширения СППР путем добавления новых методов, методик, моделей.* Важно отметить, что все дополнительные методы, методики и модели должны органично встраиваться в архитектуру СППР по единой схеме.

На основе анализа потребностей потенциальных пользователей и в соответствии с заявленными принципами можно сформулировать следующие требования к СППР [9].

1. Предоставление пользователю возможности описания структуры сложной системы. Структуру системы необходимо хранить в базе данных в виде матрицы, описывающей связи элементов. При этом необходимо хранить и информацию о характеристиках каждой такой связи: направленность связи (от первого элемента ко второму, от второго к первому, двусторонняя связь); сила связи (в обоих направлениях); тип связи (связь управления, информационная связь и др.); влияние этой связи на достижение глобальной цели всей системы и т. д.

2. Использование иерархического подхода при структуризации этапов исследования. За основу формирования логики работы с программным продуктом предлагается принять понятие «исследование». Это понятие означает всю совокупность действий по обработке информации в процессе проведения исследования эффективности сложной системы. При этом необходимо учесть, что в рамках одного исследования может быть более одной системы. Аналогично, одна и та же система может быть объектом более одного исследования. Каждое исследование может быть разделено на этапы, структура которых отражает исследуемую систему и учитывает цели и задачи исследования. У каждого этапа может быть этап-родитель. Для объединения этапов в связанные группы следует использовать этапы-контейнеры. С этапом-контейнером непосредственно не связывается выполнение каких-либо вычислительных операций. Например, этап-контейнер «Исследование эффективности факультетов» может содержать рабочие этапы «Научная работа на факультетах» и «Учебно-методическая работа на факультетах».

Для реализации идеи многовариантных расчетов необходимо предоставить пользователю возможность формировать для каждого этапа различные варианты исполнения. Такие варианты могут различаться наборами объектов и переменных, а также параметрами моделей. Анализ влияния вариаций на оценку эффективности должен выполняться в автоматизированном режиме (это должно делать ядро программного продукта).

3. Следование принципу «один этап – один метод». Все варианты конкретного этапа должны выполняться на основе одного и того же метода. Если требуется исследовать какую-то подсистему различными методами, то необходимо создать этап-контейнер и включить в него рабочие этапы, реализованные на основе требуемых методов. Данный подход позволит упростить реализацию механизма автоматизированного сравнения результатов многовариантных расчетов.

4. Использование концепции репозитория. Репозиторий содержит всю информацию, необходимую для проведения конкретного исследования: описания объектов (в том числе и гипотетических объектов, предложенных при реструктуризации системы); описания переменных; описания структуры системы (или систем, если их больше одной); исходные данные (возможно, за несколько временны*х* периодов); описания временны*х* периодов.

Предлагается следующая иерархия уровней репозитория по степени детализации: уровень исследования; уровень этапа исследования; уровень варианта этапа исследования.

С точки зрения степени обобществления информации должен существовать глобальный репозиторий (доступ к нему должен быть открыт для всех пользователей, выполняющих другие исследования); локальный репозиторий (доступен только для пользователей, проводящих конкретное исследование).

Данные, содержащиеся в репозитории исследования, должны быть представлены в оригинальном виде, т. е. без каких-либо преобразований. Преобразования данных целесообразно выполнять уже непосредственно при работе с данными в рамках проведения этапа (варианта этапа) исследования.

5. Разработка языка описания сценариев работы с СППР. Такой язык должен позволять пользователю описывать взаимосвязи элементов системы в терминах теории эффективности. Он должен использоваться для написания сценариев работы СППР в тех случаях, когда требуется проведение многовариантных расчетов, а также для реализации высокоуровневых методик, построенных на основе одного или нескольких методов оценки эффективности (подобные методики предлагались, например, в работах [10; 11]). В этом языке должны быть предусмотрены соответствующие типы данных и операторы. Пользователь должен иметь возможность сформировать сценарий работы согласно методике и сохранить его описание в базе данных с тем, чтобы затем воспроизводить написанный сценарий на различных наборах данных (на различных системах).

6. Организация коллективной работы. Коллективное использование программного продукта может быть организовано через локальную сеть или на одном компьютере. При этом необходимо обеспечить раздельный доступ к данным, принадлежащим различным пользователям.

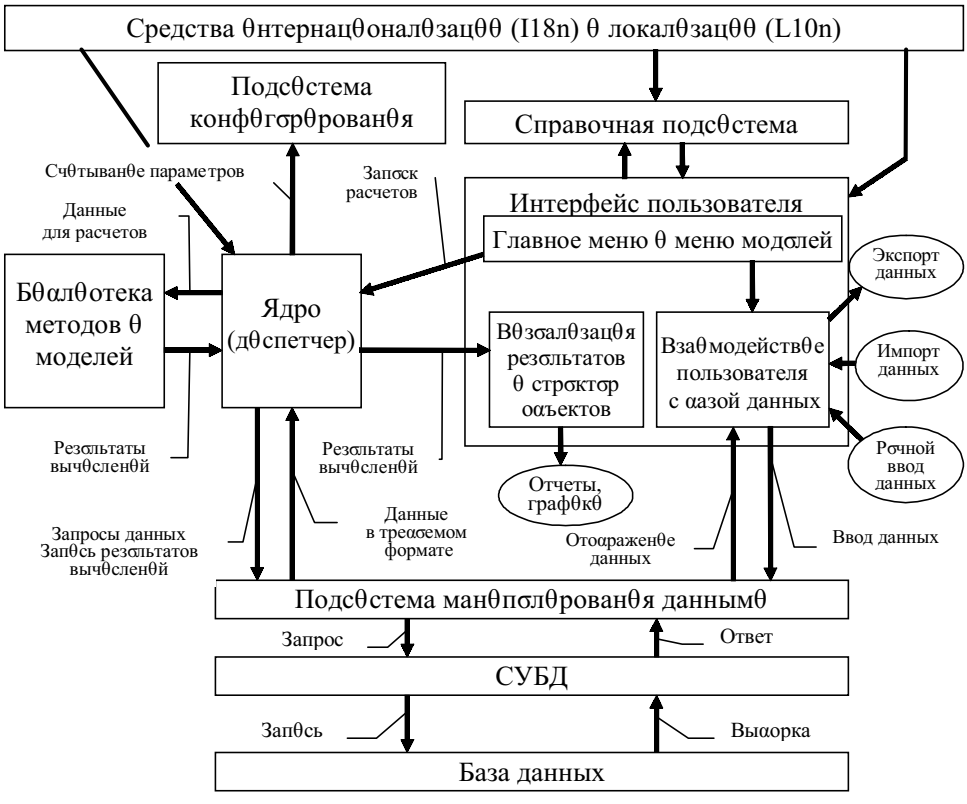
7. Наличие средств гибкого конфигурирования СППР. При этом следует использовать иерархический подход: конфигурирование на уровне всей СППР, конфигурирование на уровне исследования, конфигурирование на уровне конкретного пользователя.

8. Различная степень детализации результатов и форм их представления. Должны быть предусмотрены возможности для представления как детализированной, так и агрегированной информации о результатах. Результаты должны сохраняться и визуализироваться в виде таблиц базы данных, текстового файла-отчета, графиков и диаграмм.

В соответствии с вышеизложенными принципами и требованиями предлагается архитектура СППР [9] (рисунок). Главной подсистемой, которая управляет работой СППР, является ядро (диспетчер). Оно принимает запросы от интерфейса пользователя и преобразует их в вызовы процедур, содержащихся в библиотеке методов и моделей. Интерфейсом между ядром и СУБД служит подсистема манипулирования данными. Модули библиотеки методов и моделей не должны содержать вызовов SQL-запросов. Ядро формирует символьные строки команд для работы с базой данных и переадресует их для выполнения в подсистему манипулирования данными. Эта подсистема «знает», где находится база данных: на локальной машине или на другом сервере в локальной сети. Подсистема манипулирования данными выполняет команды и сообщает ядру результат: выполнено успешно или с ошибкой. Результаты запросов на выборку данных подсистема манипулирования данными передает ядру. Ядро готовит данные для передачи их функциям (процедурам), реализующим математические методы. При этом оно формирует необходимые структуры данных в памяти в том виде, в каком требуется для библиотеки методов и моделей. Ядро принимает результаты выполнения математических процедур от библиотеки методов и моделей и передает их для визуализации или формирует строки команд для вставки записей в таблицы базы данных.

Ядро считывает файлы конфигурации и формирует необходимые глобальные структуры данных.

Важным вопросом является выбор средств *программной реализации* СППР. Используемые средства должны обеспечивать переносимость программного продукта в различные операционные среды: программный продукт (конечно, после перекомпиляции исходных текстов) должен работать не только в среде операционной системы Windows, но также и в среде операционной системы UNIX



Предлагаемая архитектура программного продукта

(в частности, Linux и FreeBSD). Исходя из этого, библиотека методов и моделей должна быть написана на языке С, а интерфейс пользователя представляется целесообразным разработать на языке С++ с использованием многоплатформенной библиотеки wxWidgets.

От СУБД зависит удобство выполнения и надежность операций манипулирования данными. В качестве СУБД, на наш взгляд, целесообразно выбрать PostgreSQL. Эта система управления базами данных поддерживает стандарт языка SQL, отличается высокой надежностью и быстродействием.

Немаловажным фактором при выборе инструментальных программных средств является их цена. В этом плане предлагаемые программные средства имеют преимущество: они являются бесплатными и доступны в исходных кодах.

Итак, предлагаемые архитектурные решения позволят создать СППР, которая будет иметь ряд преимуществ по сравнению с программными продуктами, доступными в настоящее время. К главным преимуществам СППР следует отнести:

– возможность комплексного исследования эффективности сложной системы с учетом ее структуры;

– реализацию идеи многовариантных исследований с автоматизированным сопоставлением полученных результатов;

– организацию хранения и обработки данных в соответствии с теорией баз данных и с использованием профессиональной СУБД.

Таким образом, программный продукт, разработанный в соответствии с изложенными принципами и требованиями, мог бы стать полноценной системой поддержки принятия решений в процессе исследования эффективности сложных систем в экономике, социальной сфере, административном управлении.

Библиографический список

1. Надежность и эффективность в технике : справ. / ред. совет: В. С. Авдуевский (пред.) [и др.]. В 10 т. Т. 1. Методология. Организация. Терминология / под ред. А. И. Рембезы. М. : Машиностроение, 1986. 224 с.

2. Соломонов, Ю. С. Большие системы: гарантийный надзор и эффективность / Ю. С. Соломонов, Ф. К. Шахтарин. М. : Машиностроение, 2003. 368 с.

3. Клейнер, Г. Б. Производственные функции: теория, методы, применение / Г. Б. Клейнер. М. : Финансы и статистика, 1986. 239 с.

4. Анализ эффективности функционирования сложных систем / В. Е. Кривоножко [и др.] // Автоматизация проектирования. 1999. № 1. С. 2–7.

5. Charnes, A. Measuring the Efficiency of Decision Making Units / A. Charnes, W. W. Cooper, E. Rhodes // European Journal of Operational Research. 1978. Vol. 2. P. 429–444.

6. Cooper, W. W. Data Envelopment Analysis: a Comprehensive Text with Models, Applications, References, and DEA-Solver Software / W. W. Cooper, L. M. Seiford, K. Tone. Boston : Kluwer Academic Publishers, 2000. 318 p.

7. Coelli, T. An Introduction to Efficiency and Productivity Analysis / T. Coelli, D. S. Prasada Rao, G. E. Battese. Boston : Kluwer Academic Publishers, 1998. 275 p.

8. Handbook on Data Envelopment Analysis / W. W. Cooper, L. M. Seiford, J. Zhu (Eds.). Boston : Kluwer Academic Publishers, 2004. 608 p.

9. Моргунов, Е. П. Архитектура и принципы разработки системы поддержки принятия решений для исследования эффективности сложных систем / Е. П. Моргунов // XI Международная научно-практич. конф. «Системный анализ в проектировании и управлении», 28–30 июня 2007 г. (г. Санкт-Петербург) : труды. В 3 ч. Ч. 3 / Санкт-Петербургский гос. политехн. ун-т. СПб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2007. С. 232–237.

10. Антамошкин, А. Н. Методика исследования эффективности сложных иерархических систем / А. Н. Антамошкин, О. Н. Моргунова, Е. П. Моргунов // Вестник Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та / под ред. проф. Г. П. Белякова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2006. Вып. 2 (9). С. 9–13.

11. Cook, W. D. Hierarchies and Groups in DEA / W. D. Cook, D. Chai, J. Doyle, R. Green // Journal of Productivity Analysis. 1998. Vol. 10. P. 177–198.

E. P. Morgunov

DECISION SUPPORT SYSTEM FOR EFFICIENCY ASSESSMENT OF COMPLEX SYSTEMS: DESIGN PRINCIPLES, REQUIREMENTS, AND ARCHITECTURE

Basic design principles and requirements for decision support system used for efficiency assessment of complex systems are formulated. Architecture of such a system is proposed and means for programming implementation of this system are justified.

УДК 331.104.2

О. Л. Якищик, В. М. Клешков, О. Э. Семенкина

ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ОЦЕНКИ И ФОРМИРОВАНИЯ ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЫ, СПОСОБСТВУЮЩЕЙ РАСПРОСТРАНЕНИЮ ЗНАНИЙ НА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ

Рассматривается алгоритм оценки и формирования внутренней среды, способствующей распространению знаний на примере машиностроительного предприятия, что в современных условиях является одной из основных потребностей данной отрасли. Представленный алгоритм включает три направления оценки и позволяет создать в организации условия, позволяющие более эффективно использовать человеческий капитал.

В условиях новой экономики именно интеллектуальный капитал определяет конкурентоспособность предприятий, являясь ключевым ресурсом развития. Особенно актуально это для машиностроительных предприятий ОПК России по двум причинам: во-первых, именно ОПК исторически сосредотачивал основной запас интеллектуальных ресурсов страны, но на сегодняшний день здесь остра проблема старения ключевого персонала, что инициирует необходимость передачи его знаний и умений молодому поколению; во-вторых, именно в ОПК еще сохранились наукоемкие производства, способные обеспечить создание добавленной стоимости, обновление и повышение конкурентоспособности продукции военного и гражданского назначения отечественного производства, что свидетельствует о важности развития предприятий ОПК, как основы развития экономики страны в целом. Кроме того, наукоемкость данных предприятий ставит их в зависимость от персонала, поскольку именно наукоемкие производства и предприятия более, чем все прочие, основаны на эффективной работе высококвалифицированных интеллектуальных сотрудников, способных проводить научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (НИОКР) даже в условиях морально и физически устаревшего оборудования, скудном финансировании, скромных условиях труда. Однако в современных условиях в отношении предприятий ОПК значительной проблемой является ухудшение качественного состава, проявляющееся в старении основного персонала предприятий и недостаточном поступлении молодых квалифицированных кадров. Эти обстоятельства свидетельствуют о необходимости создания механизмов, обеспечивающих привлекательность работы на предприятиях ОПК для трудоспособных специалистов среднего и молодого возраста и позволяющих формализовать и распространять знания ключевых сотрудников.

Внутренняя среда организации заключает в себе потенциал, который дает возможность организации развиваться, но также может быть источником проблем, если не обеспечивает необходимого функционирования организации. Внутренняя среда имеет несколько аспектов, состояние которых в совокупности определяет возможности, которыми располагает организация для успешного функционирования и развития.

Применение алгоритма оценки и формирования внутренней среды, способствующей распространению знаний в организации, было апробировано на Химзаводе-филиале ФГУП «Красмаш» для определения возможностей, предоставляемых его внутренней средой по распространению знаний персонала, поскольку данное предприятие, переживая этап реформирования и общие с отраслью ОПК проблемы, испытывает потребность в более эффективном использовании знаний своих сотрудников.

Использование алгоритма происходило в три этапа (рисунок).

Этап 1. Создание среды распространения знаний персоналом организации – использование алгоритма оценки и создание среды распространения знаний в организации, побуждение ключевых сотрудников к распространению знаний в организации, отбор из желающих способных к передаче знаний ключевых сотрудников организации.

Цель первого шага *этапа 1* алгоритма – составление перечня показателей оценки – служит для выявления характеристик внутренней среды предприятия, способных оказать влияние на процессы распространения знаний сотрудников. Для оценки применяется балльная шкала от 1 до 5 баллов, где 1 балл – низкая степень способствования распространению знаний, 5 баллов – высокая степень способствования распространению знаний. Совместно со специалистами предприятия был составлен перечень показателей, характеризующих внутреннюю среду, подлежащих обсуждению и оценке в плане способствования распространения знаний в организации, которые касаются различных сторон деятельности организации и могут быть разделены на несколько условных блоков: «Персонал», «Организация», «Руководство». Охарактеризуем каждый блок.

Персонал:

1) соответствие квалификации персонала организации ее текущим и будущим задачам (5 баллов – квалификация персонала организации точно соответствует ее текущим и будущим задачам; 1 балл – квалификация персонала организации совершенно не соответствует ее текущим и будущим задачам);

2) возможность гибкого режима труда в организации (5 баллов – гибкий режим труда, способствующий эффективному выполнению должностных обязанностей, возможен; 1 балл – гибкий режим труда в организации невозможен в принципе);

3) помехи и мелочное вмешательство в выполнение работ (5 баллов – отсутствие помех и мелочного вмешательства в выполнение работ; 1 балл – постоянные помехи и мелочное вмешательство в выполнение работ);

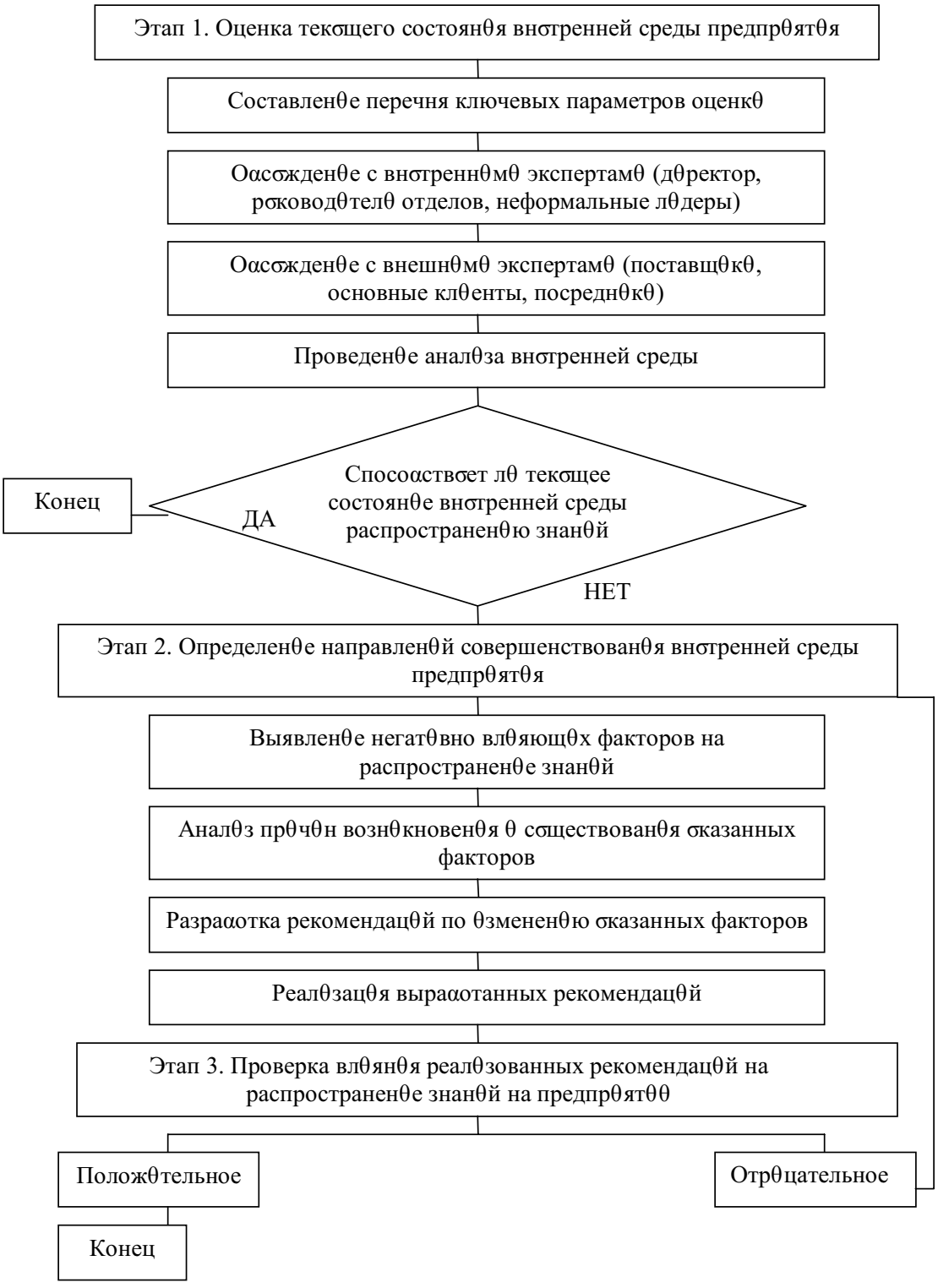
4) соответствие уровня оплаты труда специалистов в организации их стоимости на отраслевом рынке труда

(5 баллов – уровень оплаты труда специалистов превышает их стоимость на отраслевом рынке труда; 1 балл – уровень оплаты труда специалистов значительно ниже их стоимости на отраслевом рынке труда);

5) уровень изучения и удовлетворения потребностей и мотивации трудовой деятельности работников (5 баллов – в организации постоянно изучаются и создаются условия, соответствующие мотивам трудовой деятельности коллектива; 1 балл – мотивация персонала не известна руководству, не прилагаются усилия по увеличению мотивации и стимулированию трудовой деятельности работников);

6) использование различных рычагов и стимулов для активизации новаторской деятельности (5 баллов – новаторская деятельность поощряется материальными и нематериальными способами; 1 балл – использование новаторских методов работы в организации наказывается);

7) доступ к дополнительным источникам информации о нововведениях (5 баллов – сотрудники имеют доступ ко всей необходимой информации о нововведениях



Алгоритм оценки и формирования внутренней среды

как позитивной, так и негативной; 1 балл – информация абсолютно не передается);

8) механизм объединения выдвижения идей с их эффективной и быстрой реализацией (5 баллов – наличие в организации специального отдела по согласованию и внедрению новых идей; 1 балл – необходимость множества согласований при разработке и внедрении новых идей, выполняемых самостоятельно новатором);

9) признание позитивного вклада новаторов в общем успехе предприятия (5 баллов – новаторское предложение сотрудника рассматривается, внедряется и успешное нововведение признается руководством и коллективом; 1 балл – новаторские предложения сотрудников игнорируются, если даже и внедряется, то заслуга новатора в успехе предприятия игнорируется);

10) возможность выделения дополнительного времени для подготовки, доработки идей (5 баллов – сотрудникам предоставляется необходимое время для доработки новаторских идей; 1 балл – сотрудники ставятся в жесткие временные рамки, требующие для качественной доработки идей использования личного времени);

11) обеспечение новаторов необходимыми для научного поиска ресурсами (5 баллов – новаторы получают все необходимые для научного поиска ресурсы; 1 балл – новаторскую деятельность необходимо вести за счет личных ресурсов);

12) карательные меры за поисковые ошибки, высказанное мнение, отличное от мнения руководства (5 баллов – отсутствие карательных мер за поисковые ошибки, высказанное мнение; 1 балл – персонал наказывают материально и морально за поисковые ошибки, несогласие с руководством);

13) уровень доверия между руководителями и персоналом (5 баллов – свободное общение руководителей и персонала по всем вопросам, отсутствие процедурных помех для контактов; 1 балл – разделение на «мы» и «они» руководства и персонала, тотальный контроль и сокрытие информации);

14) негативные стереотипы мышления в организации (5 баллов – отсутствие негативных стереотипов мышления друг о друге, клиентах, конкурентах, искажающие действительность; 1 балл – как руководители, так и подчиненные имеют негативные стереотипы мышления друг о друге, клиентах, конкурентах, искажающие действительность);

15) присутствие в штате работников уникальной квалификации, опыта (5 баллов – организация имеет достаточное количество работников квалификации и опыта, создающих ей конкурентное преимущество; 1 балл – таких работников нет, большинство работников организации нуждается в получении дополнительных знаний для выполнения своих задач);

16) готовность работников к распространению своих знаний (5 баллов – носители ключевых для организации знаний готовы к формализации и распространению своих знаний; 1 балл – сотрудники стремятся утаить уникальные знания и умения, желая повысить тем самым свою значимость в организации);

17) текучесть кадров и прогулы (5 баллов – состав коллектива постоянен, увольнения и прогулы происходят только по объективным причинам; 1 балл – текучесть кадров и прогулы являются постоянным проблемным местом в управлении персоналом).

Организация:

1) соответствие стиля управления в организации (демократический, авторитарный, либеральный) ситуации (5 баллов – стиль управления гибко изменяется в зависимости от перемен в ситуации и обеспечивает эффективное управление организацией; 1 балл – стиль управления неизменен вне зависимости от перемен в ситуации и не обеспечивает эффективное управление организацией);

2) своевременность и обоснованность принятия управленческих решений (5 баллов – все основные решения принимаются вовремя и на основе необходимой информации; 1 балл – важные решения часто принимаются в спешке либо его принятие затягивается, при этом недостаточно обдуманно, обоснованно);

3) реализация стратегии и ее корректировка при изменении ситуации (5 баллов – все бизнес-процессы организации направлены на достижение ее стратегии, которая при необходимости корректируется; 1 балл – стратегия не выполняется по причине отсутствия ее в четко разработанном виде, либо по причине изменения ситуации, в которой разработанная стратегия теряет актуальность);

4) понятность и поддержка стратегических целей предприятия большинством работников (5 баллов – цели предприятия понятны и большинство работников стремится к их достижению на своем участке работы; 1 балл – цели предприятия известны лишь руководству, подчиненным они доводятся как разрозненные показатели и задачи, необходимые к исполнению, непонятно для какой цели);

5) контроль выполнения управленческих решений, в том числе стратегии (5 баллов – выполнение основных решений контролируется руководителями, чтобы своевременно скорректировать цели и/или методы их достижения; 1 балл – поставленная работнику задача руководством не контролируется, отсутствуют меры корректировки, оценки ситуации и работника);

6) организация производственно-сбытового процесса (5 баллов – производственно-сбытовой процесс протекает успешно, проблемы незамедлительно разрешаются; 1 балл – производственно-сбытовой процесс имеет множество проблем: недозагрузка/недостаток мощностей, устаревшее оборудование, отсутствие необходимых каналов сбыта и прочее, что в целом не позволяет предприятию работать эффективно);

7) осведомленность сотрудников о последних тенденциях в отрасли в техническом, технологическом, производственном плане (5 баллов – отраслевые тенденции постоянно отслеживаются различными способами (посещение выставок, конференций, обучения сотрудников, отраслевые периодические издания, при необходимости приобретаются предприятием; 1 балл – специалисты и руководители предприятия совершенно не анализируют тенденции в отрасли);

8) осуществление собственных научно-технических исследований и разработок по своей отрасли, создающих конкурентные преимущества (5 баллов – в организации на постоянной основе выделяются ресурсы (человеческие, временные, финансовые) для проведения собственных исследований и разработок в отрасли и внедрению их

в производство; 1 балл – собственные отраслевые исследования и разработки не проводятся организацией);

9) возможность и реальное осуществление целесообразного делегирования полномочий подчиненным (5 баллов – оперативные задачи делегируются подчиненным, это сопровождается наделением их необходимыми полномочиями и отсутствием мелочной опеки со стороны руководителя; 1 балл – принятие всех решений лежит на руководителе, подчиненным ставятся задачи, но не предоставляются полномочия для их выполнения);

10) готовность персонала к принятию на себя ответственности за полученные полномочия (5 баллов – среди сотрудников организации достаточно имеющих способность и готовность к принятию на себя ответственности за полученные полномочия; 1 балл – в организации отсутствуют сотрудники, имеющие способность и готовность к принятию на себя ответственности за полномочия);

11) эффективность проведения целесообразных деловых встреч, совещаний (5 баллов – деловые встречи, совещания всегда проводятся для решения какого-либо вопроса и заканчиваются успешным его решением; 1 балл – деловые встречи, совещания часто проводятся по обыкновению и сводятся к «переливанию из пустого в порожнее»);

12) идентичность имиджа фирмы в глазах внутренних и внешних клиентов (5 баллов – имидж вне фирмы соответствует ее восприятию внутренними клиентами; 1 балл – то, что внутренние клиенты думают, и какой имидж фирмы передают своим поведением внешним клиентам, значительно отличается о того, что стремится передать фирма);

13) эффективность коммуникаций внутри подразделений, между подразделениями, различными уровнями управления и с внешней средой (5 баллов – информация передается в полном объеме, без искажений как внутри предприятия, так и между ним и внешней средой, доброжелательные отношения в подразделениях, на различных уровнях управления, сотрудников с внешними контрагентами; 1 балл – информация постоянно искажается, утаивается сотрудниками для личной выгоды, существуют натянутые отношения как внутри коллектива, так и с внешними контрагентами);

14) поддержка корпоративной культурой развития персонала и организации в целом (5 баллов – развитие сотрудников в организации является главной корпоративной ценностью, разделяемой большинством работников; 1 балл – в традициях организации – стабильность, стремление «не высовываться», не быть «лучше других»).

Руководство:

1) восприимчивость руководством новых идей, в том числе идущих снизу (5 баллов – руководство не только принимает идеи подчиненных, но всячески поощряет подчиненных на выдвижение новых идей, улучшающих производственный процесс; 1 балл – ни одна из идей, предложенных нижестоящими сотрудниками, не рассматривается на возможность внедрения);

2) стремление руководства к самообразованию и образованию сотрудников (5 баллов – руководство личным примером, выделением необходимых ресурсов побуждает персонал к обучению; 1 балл – руководители совершенно не заинтересованы ни самообразованием, ни образованием сотрудников, даже если последние осуществляют это за счет личных ресурсов – временных, финансовых и пр.);

3) «синдром всезнающих экспертов» у руководства (5 баллов – руководители не считают себя специалистами по всем вопросам деятельности предприятия, признают возможность своего незнания в какой-либо проблеме; 1 балл – руководители категорически отрицают возможность ошибочности своего мнения, считают себя специалистами по всем вопросам);

4) возможность свободного доступа к руководству для решения рабочих вопросов (5 баллов – отсутствие процедурных помех для сотрудника любого уровня при доступе к руководству; 1 балл – количество процедурных помех доступа к руководству сотрудника любого уровня настолько велико, что делает невозможным и ненужным их контакт);

5) предоставление руководством деловой информации сотрудникам, даже если она негативна (5 баллов – руководители всех уровней всегда обеспечивают подчиненных всей необходимой для работы информацией, даже если она негативна; 1 балл – руководители ставят подчиненным задачи, не объясняя целей, причин и последствий их решений; информация, негативно характеризующая предприятие и/или руководство, утаивается от подчиненных);

6) предоставление сотрудниками деловой информации руководству, даже если она негативна (5 баллов – сотрудники всех уровней всегда обеспечивают руководителей необходимой деловой информацией, даже если она негативно характеризует их работу; 1 балл – сотрудники стремятся скрыть информацию, которая может грозить им увеличением обязанностей, строгим наказанием за допущенные ошибки или упущенные возможности в работе);

7) схожесть главных ценностей высшего руководства и подчиненных (5 баллов – ценности высшего руководства и подчиненных во многом схожи – правила поведения, политические взгляды, этические нормы, интересы вне работы, семейные традиции; 1 балл – ценности руководства и подчиненных не имеют ничего общего);

8) уровень управленческой подготовки руководства и глубины владения проблемами предприятия (5 баллов – все руководящие посты занимают профессионально подготовленные специалисты, владеющие проблемами предприятия и способные их решать; 1 балл – руководящие посты занимают сотрудники, не имеющие ни специального образования, ни успешного опыта управленческой деятельности, не вникающие в проблемы предприятия, не желающие и не способные их решать) [1].

В рамках второго шага *этапа 1* алгоритма исследователями проведен отбор внутренних экспертов, которыми были директор предприятия, руководители подразделений, неформальные лидеры предприятия, достаточно владеющие проблемами внутренней среды.

Метод экспертных оценок было целесообразно использовать при отсутствии статистических данных об изучаемых проблемах с целью количественного измерения событий, для которых не существует других способов измерения. Предполагается, что эксперт основывает свои оценки на группе причинных факторов, действующих в рамках определенного сценария, оценивая их вероятное

влияние на изучаемый показатель [2]. В связи с этим использование экспертного опроса явилось наиболее подходящим методом сбора данных для оценки среды на степень способствования или препятствования распространению знаний в организации.

Третий шаг *этапа 1* алгоритма предполагает проведение исследователями отбора внешних экспертов, которыми явились поставщики, основные клиенты, посредники и прочие внешние контрагенты, сотрудничающие с предприятием на постоянной основе (более 1 года) и способные оценить проблемы внутренней среды предприятия. Опрос внешних экспертов обеспечивает независимую, непредвзятую оценку проблем предприятия в части сотрудничества с ним в рамках компетенции каждого контрагента-эксперта, которой могут быть лишены оценки внутренних экспертов по причине их прямого влияния на проблемы внутренней среды предприятия.

На четвертом шаге *этапа 1* алгоритма по указанным показателям внешние и внутренние эксперты проводят оценку внутренней среды предприятия в том, насколько она способствует распространению знаний работников. Индивидуально выставленные экспертами оценки суммируются, определяется среднее значение по каждому из блоков «Персонал», «Организация», «Руководство», находится их усредненное значение. Если значение усредненного показателя находится в пределах от 4 до 5 баллов, то полагается, что внутренняя среда способствует распространению знаний персонала. В результате прохождения *этапа 1* данного алгоритма фактическое состояние внутренней среды Химзавода оценено экспертами как удовлетворительно, способствующее распространению знаний сотрудников, т. е. ниже 4 баллов.

Этап 2. Оценка и создание среды, способствующей распространению знаний в организации – определение направлений совершенствования внутренней среды предприятия. На первом шаге *этапа 2* алгоритма были выявлены направления реформирования внутренней среды предприятия, которые вытекают из характеристик внутренней среды, получивших низкие экспертные оценки на *этапе 1* (оценка и создание необходимой среды). На втором шаге *этапа 2* проводится анализ причин возникновения и существования факторов, негативно влияющих на распространение знаний. На третьем шаге *этапа 2* были разработаны мероприятия по указанным направлениям с целью создания среды, способствующей распространению знаний.

В области управления – развитие культуры управления в целом и фундаментальная базовая управленческая подготовка.

Введение постоянного отбора лидеров в подразделениях служб маркетинга, сбыта, снабжения и других, организация их обучения и стажировки для пополнения кадрового резерва менеджеров.

В целях повышения информированности персонала и вовлечения его в процесс принятия решений организовано доведение до каждого работника конкретных целей и задач по выполнению объемов работ и их выполнение через мотивацию труда; разработана концепция комплексной информационной системы управления Химзаводом; информирование персонала через информационные листки, стенды, радио, путем встреч руководителей с сотрудниками в цехах.

В целях устранения необходимости множества согласований при разработке и внедрении новых идей, а также в целях вовлечения персонала в процессы развития Химзавода был создан Центр активного развития (ЦАР), который собирает все идеи (и за пределами Химзавода), анализирует их, внедряет в производство успешные проекты и доводит до массового выпуска.

Для привлечения и закрепления молодых специалистов на предприятии предприняты следующие меры: повышение зарплаты и создание возможности обучения, а следовательно, профессионального и должностного роста. Для ускорения адаптации и снижения текучести кадров разработана программа «Первый день молодого работника», включающая инструктаж в службе персонала, посещение музея завода, ознакомление с продукцией, детальное знакомство с руководством и коллективом подразделения, сопровождение новичков в течение всего первого года работы специально выделенным наставником, ежемесячные встречи с руководством предприятия, возможности дополнительного обучения. В рамках работы с молодежью организовано взаимодействие службы персонала с общественными молодежными организациями, досуг и занятия спортом для работников предприятия и др., что позволит ощутимо снизить текучесть кадров среди молодежи и понизить средний возраст работников.

Необходимость введения стимулов для активизации новаторской деятельности потребовала создать Фонд оплаты труда, определяемый по нормативам предприятия и состоящий из постоянной и переменной частей. Целям материальной мотивации служит и намерение сделать все подразделения материально заинтересованными в производстве новой продукции и увеличении объемов производства с помощью Центров финансовой ответственности (ЦФО), призванных также создать основу для децентрализации управления, развития «чувства хозяина» и вовлечения в процессы развития Химзавода персонала и пр. [3].

На четвертом шаге *этапа 2* произошло осуществление разработанных рекомендаций с целью устранения факторов, негативно влияющих на распространение знаний в организации.

Этап 3. Проверка влияния реализованных рекомендаций на распространение знаний на предприятии – вновь было оценено влияние измененных факторов и условий внутренней среды предприятия на способствование распространению ключевых знаний. Влияние внутренней среды с учетом измененных факторов было оценено экспертами как положительное воздействие на распространение знаний в организации, на чем алгоритм оценки и создания среды, способствующей распространению знаний в организации, завершается, поскольку цель достигнута.

Таким образом, распространение знаний ключевых сотрудников предприятий ОПК – это один из важнейших ресурсов организации для успешного функционирования в современных условиях реформирования предприятий ОПК. Для определения возможностей, предоставляемых внутренней средой предприятия распространению знаний персонала в организации, был предложен и апробирован на одном из предприятий ОПК Красноярского края алго-

ритм оценки и формирования внутренней среды, способствующей распространению знаний ключевых сотрудников в организации, позволяющий более эффективно использовать человеческий капитал предприятия.

Библиографический список

1. Гончарук, В. А. Развитие предприятия / В. А. Гончарук. М. : Дело, 2000. 208 с.

2. Голубков, Е. П. Маркетинговые исследования: теория, методология и практика / Е. П. Голубков.М. : Изд-во «Финпресс», 2004. 446 с.

3. Хайниш, С. В. Российское предприятие ВПК: выжить и развиваться (на примере реформирования и развития Химзавода – филиала ФГУП «КРАСМАШ») / С. В. Хайниш, В. М. Клешков, А. Н. Бородин. М. : Рохос, 2003. 240 с.

O. L. Yakischik, V. M. Kleshkov, O. E. Semenkina

USE OF ALGORITHM OF KNOWLEDGE SPREADING INTERNAL ENVIRONMENT FORMING AND EVALUATION ON MACHINE-BUILDING ENTERPRISE

It is considered the algorithm of forming and evaluation of internal environment for spreading knowledge on machine-building enterprise. Knowledge spreading environment is nowadays one of basic needs for this branch of industry. This algorithm includes 3 steps of evaluation and lets enterprise to create conditions for human capital effective adoption.

УДК 004.738.52

М. В. Карасева, И. Н. Карцан, П. В. Зеленков

МЕТАПОИСКОВАЯ МУЛЬТИЛИНГВИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Рассматриваются метапоисковые принципы организации поисковых процедур, обеспечивающих надлежащий уровень релевантности информации и ранжирования ее в соответствии с запросом пользователя. Представлена реализация метапоисковой мультилингвистической системы «Zendex».

В настоящее время классические поисковые сервисы сталкиваются с проблемой постоянного увеличения объемов информации в сети Internet и недостаточностью охвата данного информационного пространства [1]. Также большинство современных систем поиска сталкиваются с проблемой определения уровня релевантности найденной информации. Самых высоких показателей в этом направлении позволяет достичь «ручной» просмотр содержания страницы или сайта человеком, что можно увидеть на примере поисковых систем-каталогов. Третья проблема связана с организацией выдачи информации пользователю с учетом его требования (ранжирование информации).

Таким образом, при создании собственных поисковых систем перед разработчиками встают следующие задачи: охват максимального сегмента сети Internet, обеспечение надлежащего уровня релевантности найденной информации и ранжирования ее в соответствии с запросом пользователя. Авторы предлагают использовать метапоискавые принципы организации поисковой процедуры [2]. В качестве иллюстрации авторского подхода рассматривается метапоисковая мультилингвистическая система «Zendex».

Для начала работы необходимо выбрать одну из поисковых систем (по предпочтению пользователя). На текущий момент времени в «Zendex» реализована работа с тремя подобными системами: Yandex, Rambler и Google. Однако система позволяет расширить количество опрашиваемых поисковых сервисов. Система обеспечивает использование как одного, двух, так и сразу всех поисковых сайтов. Для выбора операции поиска сразу во всех поисковых сайтах необходимо перейти на закладку «Везде». В этом случае будут последовательно опрашиваться все поисковые web-службы, а результат будет выводиться в привычном постраничном формате. Чтобы приступить к поиску, нужно ввести строку запроса в поле поиска и нажать клавишу «Enter» или кнопку «Найти».

Если по запросу информация будет найдена, то она отобразится в окне. Если в процессе поиска произойдет ошибка, будет выведено соответствующее сообщение на странице ошибок с указанием номера, типа и причины ошибки. Если же ни одного документа найдено не было, появится соответствующее сообщение. Несмотря на то, что система имеет простой интерфейс, предусмотрена расширенная алгоритмическая реализация по сравнению с классическими метапоисковыми сервисами.

В предлагаемой авторами технологии основой работы системы являются мультилингвистические тематические частотные словари [3]. Данные словари позволяют повысить качество определения релевантности документов запросам пользователя. Словари позволяют выделить направленность документа, вплоть до определения рубрики (предметной области), к которой принадлежит документ. Качество определения уровня релевантности в

предлагаемом решении соответствует уровню релевантности в каталожных системах ручной индексации.

В результате выполнения поисковой процедуры согласно алгоритму определения релевантности формируются вектора частот, определяющийся по формулам:

$$\overrightarrow{doc}_j = (wdoc_{1j}, wdoc_{2j}, ..., wdoc_{qj}),$$

$$\overrightarrow{dic}_i = (wdic_1, wdic_2, ..., wdic_k),$$

где вектор doc_j относится к терминам из документа, а dic_j – к терминам из частотного мультилингвитического словаря; $wdic_{ij}$ и $wdoc_{ij}$ – частотные характеристики термов в словаре и документе соответственно.

Далее вектора приводятся к одной размерности по принципу встречаемости термов в обоих векторах. После приведения векторов к одной размерности e и упорядочивания их в порядке принадлежности к одному термину, необходимо составить вектор c:

$$\overrightarrow{c}_j = (rel_{1j}, rel_{2j}, ..., rel_{ej}),$$

где rel_{ij} – уровень релевантности документа, который можно определить следующим образом:

$$rel_{ij} = \left| \frac{wdoc_{ij} - wdic_i}{wdoc_{ij} + wdic_i} \right|.$$

После упорядочивания вектора c получим уровень релевантности каждого документа требуемой предметной области. Таким образом, могут быть реализованы упрощенные алгоритмы определения уровня релевантности. При выводе документов пользователя необходимо провести сортировку по вектору c.

К достоинствам системы можно отнести следующие моменты.

Использование частотного словаря позволяет производить поиск сразу на нескольких языках, например русском, английском и немецком.

Реализация метопоисковых принципов позволяет охватывать индексы трех самых популярных поисковых web-служб – Яндекс, Google, Rambler.

Реализация независимой от внешнего web-сервера проверки релевантности позволяет сократить объем нерелевантных ссылок в результатах поиска и существенно повысить качество обработки запросов пользователя.

Применение алгоритмов, базирующихся на частотных словарях, позволяет повысить степень релевантности документов запросу пользователя, а также уменьшить объем трафика пользователя при формировании собственной базы релевантных документов.

Библиографический список

1. Талантов, М. Поиск в Интернете: подводные камни / М. Талантов // КомпьютерПресс. 1999. № 9. С. 46–52.

2. Зеленков, П. В. Проблема развития метапоисковых технологий / П. В. Зеленков, Т. А. Ковалева // Вестник НИИ СУВПТ : сб. науч. тр. ; под общ. ред. проф. Н. В. Василенко. Красноярск : НИИ СУВПТ. 2004. Вып. 14. С. 95–103.

3. Ковалев, И. В. Автоматизация формирования информационно-терминологического базиса мультилингвистических обучающих технологий / И. В. Ковалев, П. В. Зеленков // Телекоммуникации и информатизация образования. 2005. № 3 (28). С. 68–82.

M. V. Karasev, I. N. Kartsan, P. V. Selenkov

META-SEARCH MULTI-LINGUISTIC SYSTEM

Meta-search principles of information retrieval processes are considered. These principles are applied to the ranking of information for the user inquiry. The realization of meta-search multi-linguistic system «Zendex» is presented.

УДК 004.05

И. Н. Карцан, Д. В. Кустов, С. А. Яркова

АКТИВНАЯ МОДЕЛЬ МУЛЬТИЯЗЫЧНЫХ ЗАПРОСОВ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ В ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИХ СИСТЕМАХ

Предлагается подход к использованию активной модели пользователя в информационно-управляющих системах, что позволяет еще на этапе их проектирования обеспечить персонализацию мультилингвистических поисковых систем.

На сегодняшний день наиболее перспективным видом информационных систем (ИС) являются информационно-управляющие системы (ИУС) в мультинациональных корпорациях. Это объясняется, в первую очередь, характерной тенденцией интеграции ранее разрозненных (например, по принципу физического места расположения подразделения) информационных источников корпорации в единую информационную базу. Упомянутые информационные системы, наряду с другими, обладают такими характерными свойствами, как централизованность (в плане сосредоточения базы знаний ИС) и многоязычность документов, хранящихся в такой ИС. При этом для современных информационно-управляющих систем характерен значительный прирост объемов

многоязычной (мультилингвистической) информации, хранящейся в банках данных.

В процессе управления дискретными техническими и человеко-машинными системами предприятия необходимо осуществлять поиск и предоставлять пользователю – лицу, принимающему решения (ЛПР), все хранимые документы и данные, имеющие отношение к сложившейся производственной ситуации, предварительно упорядочив их по степени важности выдаваемой информации. Особую сложность приобретают вопросы своевременного предоставления управленческому персоналу документов, принадлежащих различным языковым множествам. Значительно возросшие требования к оперативности и качеству функционирования систем поиска мультилингвитсической информации, используемых ЛПР в различных экономических и производственных ситуациях, требуют разработки соответствующих алгоритмов.

Традиционно применяемые алгоритмы поиска мультилингвитсической информации ориентированы только на обработку существующей коллекции документов. Для этого разработаны достаточно эффективные процедуры [1]. Но требования к оперативности и качеству функционирования систем поиска мультилингвитсической информации, используемых лицом, принимающим решения в различных экономических и производственных ситуациях, значительно возросли. В такой ситуации использование только традиционных методов и их модификаций недостаточно, поскольку такая схема не позволяет оперативно и в достаточной мере оценивать меняющиеся приоритеты самого ЛПР, влияющего на процесс принятия решений.

В данной работе предлагается новый подход к использованию ранее хорошо зарекомендовавшей себя [2] адаптивной модели пользователя, в роли которого в случае ИУС выступает ЛПР. Такой подход позволяет увеличить эффективность традиционных процедур поиска релевантных ситуации документов в мультилингвистической коллекции документов за счет использования модели ЛПР и алгоритма ее адаптивной корректировки на каждом этапе работы с системой. При этом достигается более высокая проработка априорной информации и предоставляется возможность использования ее в традиционных системах поиска мультилингвитсической информации.

Коллекции многоязычной (мультилингвистической) информации. Очевидно, что, когда речь идет о банках данных мультинациональных предприятий и корпораций, основной задачей становится своевременное предоставление управленческому персоналу документов, принадлежащих различным языковым множествам, в процессе подготовки и принятия решения. При этом значительно возрастают требования к оперативности и качеству функционирования систем поиска мультилингвитсической информации, используемых лицом, принимающим решения (ЛПР) в различных экономических и производственных ситуациях.

Для обеспечения вышеуказанных требований к скорости оперирования мультиязычными документами разрабатываются различные способы представления таких документов и ранжирования их в рамках заданных коллекций.

В рамках рассматриваемого подхода применяется хорошо зарекомендовавшая себя [2] векторная модель данных. Любой документ представляется как вектор частот появления определенных терминов в нем. При таком подходе отношения между документами и терминами представляются в виде матрицы смежности A, элементом w_{ij} которой является частота появления термина t_j в документе d_i. Обозначим через m количество проиндексированных терминов в коллекции документов d, а через n – количество самих документов. В общем случае элементом w_{ij} матрицы A является некоторый вес, поставленный в соответствие паре документ–термин (d_i, t_j). После того, как все веса заданы, матрица A становится отображением коллекции документов в векторном гиперпространстве.

Активная модель и профили ЛПР. Профиль ЛПР отражается на выборе рациональной стратегии поведения в сложных производственных ситуациях, зависит не столько от количественных соотношений, сколько от качественных формулировок. Выбор категории или профиля ЛПР зачастую определяется набором типовых ситуаций, которые возникают в системе управления только в том виде, в котором он был зафиксирован на практике.

При формировании профиля ЛПР учитывается ряд атрибутов, характеризующий различные производственные ситуации, возникающие в процессе функционирования промышленного предприятия:

– наименование ситуации;

– описание причин ее возникновения;

– указание последствий, к которым она может привести;

– временные характеристики, определяющие время возникновения и окончания ситуации;

– наименование структурных подразделений предприятия, где возникла производственная ситуация;

– описание мероприятий, необходимых для ее успешного разрешения;

– указание производственных факторов, влияющих на процесс принятия решений;

– список документов, регламентирующих поведение ЛПР в сложившейся ситуации;

– перечень данных, поступающих от различных информационно-измерительных систем предприятия и используемых ЛПР в процессе выработки решения.

Необходимо отметить, что на ряде промышленных предприятий некоторые из указанных выше характеристик производственных ситуаций могут не использоваться управленческим персоналом в процессе принятия решения. Кроме того, ряд характеристик производственных ситуаций может оставаться не определенным экспертами в течение значительного промежутка времени. В этих случаях в разрабатываемой поисковой системе при формировании профиля ЛПР будут учитываться только известные (базовые) характеристики и не будут рассматриваться остальные.

В работе предложена новая схема моделирования ЛПР, основанная на инициализации начального профиля и его последовательной корректировке в процессе работы. При этом документы могут быть представлены как векторы латентного семантического пространства [2]. Для того чтобы следить и непрерывно анализировать возможные

изменения интересов ЛПР, предлагается ввести понятие временного измерения в латентном семантическом пространстве, тем самым рассматривая уже не само латентное семантическое пространство, а его модификацию – временное латентное семантическое пространство. Каждое измерение (за исключением временного) такого векторного пространства представляет собой условные вероятности при заданном классе $P(\cdot| z)$. Документы представляют собой векторы с весовыми коэффициентами (координатами) $P(z|d)$, временное измерение полагаем равным нулю. Запросы ЛПР, равно как и сами документы, могут быть представлены в виде векторов во временном латентном семантическом пространстве. Кроме весов $P(z|Q)$ у них есть дополнительное (временное) измерение (текущий вес), первоначально равное некоторой положительной величине, уменьшающейся с течением времени, исходя из предположения о падении актуальности определенной производственной ситуации (при отсутствии ее фигурирования в течение продолжительного времени). Если ЛПР инициирует запрос, связанный с определенной категорией из его текущего профиля, то вес данной категории может быть либо стабилизирован на определенное время, либо увеличен.

Согласно геометрии рассматриваемого латентного семантического пространства, запрос ЛПР, состоящий из терминов, проецируется в латентное семантическое пространство, при этом гиперповерхность S_i, образованная запросом Q_i, является пересечением вероятностных поверхностей всех классов H_{ki}, введенных на латентном семантическом пространстве, в которых с определенной вероятностью фигурирует данный термин:

$$S_i = \bigcap_k H_{ki}.$$

Алгоритм адаптивной коррекции профиля ЛПР основан на неявной обратной связи с ним, которая реализуется на основе истории его запросов в конкретных производственных ситуациях [3]. На вход алгоритма поступает запрос ЛПР, на выходе – одна или более троек (триплетов) вида (C_i, W_i, α_i), где C_i – категория ЛПР, W_i – текущий вес, α_i – уровень изменчивости (смысл данной величины состоит в том, чтобы отразить насколько изменяются интересы ЛПР в рамках текущей производственной ситуации по отношению к прошлым ситуациям и, следовательно, запросам к БД ИУС). При этом профиль ЛПР организован таким образом, что его интересы разделены на два типа: краткосрочные (*краткосрочный профиль*) и долгосрочные (*долгосрочный профиль*). Как правило, емкость долгосрочного профиля больше емкости краткосрочного.

Таким образом, предлагаемый в работе подход к использованию активной модели пользователя в ИУС позволяет еще на этапе проектирования предусмотреть возможность персонализации таких систем. Очевидно, что использование активной модели пользователя (в роли пользователя в данном случае выступает ЛПР) имеет существенное значение при учете производственных факторов, влияющих на процесс принятия обоснованных решений, анализе последствий, к которым может привести та или иная ситуация (то или иное решение). Кроме того, в силу мультиязычности описываемой системы персонализация позволяет сократить время обучения ЛПР и обработки мультиязыковых запросов к системе. При этом непрерывная корректировка модели позволяет отслеживать изменения в предпочтениях ЛПР и вносить соответствующие корректировки в коллекции релевантных документов.

Библиографический список

1. Кустов, Д. В. Интеллектуализация информационных технологий в корпоративных системах / Д. В. Кустов, И. В. Ковалев, М. Ю. Слободин // Информационные ресурсы России. 2006. № 3(91). С. 31–34.

2. Кустов, Д. В. Адаптивная корректировка модели пользователя на основе методологии PLSA / Д. В. Кустов // Вестник университетского комплекса : сб. науч. тр. ; под общ. ред. проф. Н. В. Василенко. Красноярск : ВСФ РГУИТП, НИИ СУВПТ. 2004. Вып. 1(15). С. 45–54.

3. Кустов, Д. В. Адаптивная метапоисковая система / Д. В. Кустов, М. Ю. Слободин, С. С. Огнерубов // Инвентарный номер ФАП: 5955. Код программы по ЕСПД: 03524577.01366-01.

I. N. Kartsan, D. V. Kustov, S. A. Jarkova

THE ACTIVE MODEL OF MULTI-LINGUISTIC USER'S DEMANDS IN INFORMATION MANAGEMENT SYSTEMS

An approach to the employment of the user's active model in information management systems is proposed. It is provided a personal mode for the multi-linguistic search systems on the design stage.

УДК 681.3

И. В. Ковалев, А. С. Кузнецов, Е. А. Веретенников

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ГЕНЕРАЦИИ КОМПИЛЯТОРОВ МУЛЬТИСИНТАКСИЧЕСКИХ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Разработанная программная система повышает эффективность поиска ошибок в отлаживаемых программах синтаксического анализа на основе существующих спецификаций Flex и BYacc.

В настоящее время для создания отказоустойчивых программных систем существует несколько подходов. Среди них одним из наиболее очевидных и перспективных является методология мультиверсионного программного обеспечения [1].

Предположим, что программа или программная система, разработанная в рамках данной методологии, подразумевает, что во время ее выполнения запускаются несколько выполняющих одинаковые функции модулей, реализованных в виде задач (процессов или потоков) с изолированными или неизолированными адресными пространствами. Среда их выполнения может быть заранее известна, и в силу различных причин программная реализация этих модулей осуществляется на языках ассемблера, верификацию программ на котором приводить достаточно легко по сравнению с другими языками. Однако модули, реализующие функции по управлению или выполняющие интерактивные задачи, должны кодироваться на языках высокого уровня. Системы программирования для некоторых из них предлагают расширение таких языков с помощью так называемых ассемблерных вставок. Более общим случаем является использование ассемблерных фрагментов для нескольких микропроцессорных систем. И, наконец, в самом общем случае возможно одновременное использование в одном и том же исходном тексте нескольких языков высокого уровня (например, один модуль выполняется на виртуальной Java-машине, а другой – на виртуальной Lisp-машине). В любом случае в качестве лидера предполагается использование единственного языка.

Таким образом, уже в рамках одного исходного текста (или части) программы могут одновременно использоваться языки с различающимися свойствами с точки зрения синтаксиса и, как следствие, генерируемые разными классами грамматик. В связи с этим можно отнести такие языки к классу мультисинтаксических (МСЯ). Очень важно, что для анализа таких языков в общем случае может потребоваться использование в качестве основы грамматики 0-типа в соответствии с иерархией Хомского [2].

Синтаксис каждого из составляющих языков «желательно» описывать контекстно-свободной грамматикой. Из всего алфавита языка-лидера выделяются специальные символы, которые сигнализируют «главному» синтаксическому анализатору о том, что тот должен передать управление соответствующему «вспомогательному» анализатору. Количество лексических и семантических анализаторов может быть равно количеству используемых языков, а их взаимодействие друг с другом осуществляется по одной из традиционных схем. В то же время количество формируемых синтаксических деревьев может и отличаться от числа составляющих языков, т. е. они могут быть неоднозначными. Это, а также возможные действия по синтезу целевого кода (во всех смыслах) программы и должны образовать компилятор требуемого МСЯ, который уже в дальнейшем может использоваться для создания мультиверсионного программного обеспечения.

Формально синтаксис МСЯ L можно описать следующим образом с использованием списка грамматик G:

$$G = (G_{Lead}, G_1, \ldots, G_I, \ldots, G_N),$$

где G_{lead} – грамматика языка-лидера, остальные грамматики G_I являются вспомогательными, которые обладают всеми свойствами контекстно-свободных грамматик [2]; N – количество грамматик «вспомогательных языков».

В то же самое время продукции грамматики G_{lead} внешне выглядят как контекстно-свободные, но со следующими отличиями. G_{lead} определяется шестеркой элементов:

$$G_{lead} = (T, N, P, S, V_{switch}, P_{switch}),$$

где T, N, P, S имеет тот же смысл, что и в [2], V_{switch} – множество особых лексем, которое является подмножеством множества терминальных символов T; P_{switch} – специально выделенное множество продукций для переключения между грамматиками, которое является подмножеством всего множества продукций. Фактически, это пары вида $\alpha \to A_I\beta$, где α – левая часть продукции; A_I – специальный терминал $(A_1 \in V_{swich})$, который вызывает смену грамматики с G_{lead} на G_I; β – хвост правой части продукции, который содержит специально выделенный нетерминал, именующий группу продукций грамматики G_I.

Естественно, всю совокупность синтаксических анализаторов можно рассматривать как единый модуль, но для удобства автоматизации их создания удобнее считать их отдельными модулями (рис. 1).

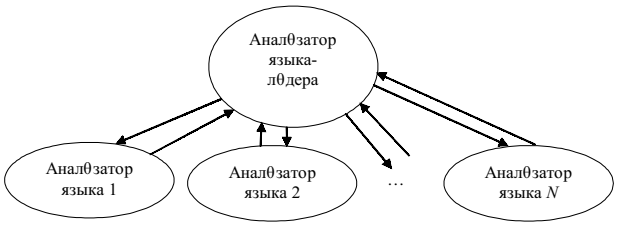


Рис. 1. Схема взаимодействия синтаксических анализаторов

С целью автоматизации процесса генерации компиляторов МСЯ предлагается разработать так называемый «компилятор компиляторов». Для этого разумнее воспользоваться каким-либо хорошо зарекомендовавшим себя средством, модифицировать в соответствии с поставленной задачей, осуществить его отладку и внедрить в эксплуатацию. Как

упоминалось в статье [3], наиболее подходящими инструментами для этого являются родственные друг другу программы Bison и Byacc. Они строят программы восходящего синтаксического анализа, работающие по алгоритму LALR(1), покрывая большинство практически применяемых языков программирования. В той же работе [3] описывается разработка программы под рабочим названием MuYacc, где для автоматизации лексического анализа используется механизм регулярных выражений, а для автоматизации синтаксического анализа – система продукций. Остается учесть также следующие ограничения и рекомендации, тесно взаимосвязанные между собой:

– «вспомогательные» синтаксические анализаторы горизонтально другом с другом не взаимодействуют, чтобы избежать петель вызовов процедур анализа (рис. 2). Это означает, что перед обработкой входных спецификаций осуществляется проверка наличия таких петель;

– анализатор-лидер и ни один из вспомогательных анализаторов не должны быть идентичными, т. е. относиться к одному и тому же языку. Это означает, что выполняется проверка эквивалентности множества лексем, а также систем продукций путем сравнения получаемых синтаксических деревьев;

– действия по проверке семантических соглашений и действия этапа синтеза выполняются на языке программирования либо описываются в формате XML;

– в качестве лидера используется какой-либо из языков промышленного программирования, например Си++.

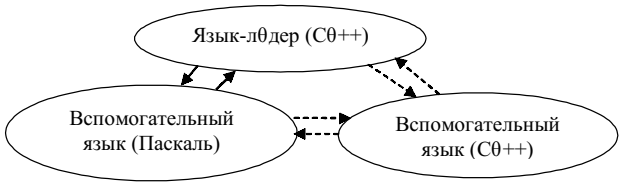


Рис. 2. Петли вызовов анализаторов и несовпадение языка-лидера и вспомогательного языка

Следует отметить, что реализация предлагаемого подхода и разработка данного компилятора компиляторов необходимы для использования в учебном процессе студентов программистских специальностей и смежных с ними по дисциплинам «Теория языков программирования и методы трансляции», «Основы построения трансляторов», «Системное программное обеспечение», «Разработка программного обеспечения для информационно-управляющих систем». Также возможно его применение в промышленной эксплуатации при реализации различных этапов и фаз процесса трансляции языков программирования и при создании программного обеспечения информационно-управляющих систем.

Входная спецификация инструментального средства разработки компиляторов МСЯ. В основе проекта с рабочим названием MuYacc лежит входная спецификация BYacc, которая в общем случае состоит из трех частей, разделенных символами %%:

– объявления,
%%
– правила,
%%
– пользовательские функции.

В разделе объявлений перечисляются терминальные символы алфавита реализуемого языка программирования, предваренные ключевым словом **% token**, а также указываются некоторые правила разрешения неоднозначности в грамматике реализуемого языка. Правила этой грамматики перечисляются во второй части спецификации, а лексический анализатор пишется на языке регулярных выражений в первой части входной спецификации. Другие процедуры определяются в третьей части.

При создании автоматизированного средства разработки трансляторов языков программирования возможны два пути реализации лексических анализаторов с использованием регулярных выражений, которые можно разместить в разделе объявлений и в разделе пользовательских функций.

Первый вариант – реализация регулярных выражений в разделе объявлений – более удобен, так как в этом случае спецификация получается более наглядной.

Для этого во входной спецификации используется ключевое слово **% regexp**, которое определяет конкретное регулярное выражение (его имя, описание, действия), даже если оно не используется в качестве терминального символа в алфавите реализуемого языка и не встречается в продукциях его грамматики. Чтобы описать терминальный символ, достаточно создать регулярное выражение с таким же именем. Далее приведен фрагмент с описанием терминальных символов и продукции упрощенной грамматики для арифметических выражений:

```
   %regexp letter [a-z]
   %regexp digit [0-9]
   %regexp IDENT letter(letter|digit)*
              %action% {strcpy($$,yytext);}
   %regexp   NUM   digit+   %action%
{$$=atoi(yytext);}
   %token <str> IDENT
   %token <num> NUM
   %%
   expr  :   expr '+' expr | '(' expr ')' |
IDENT | NUM;
   %%
```

Введение конструкции **% regexp** позволяет использовать уже имеющиеся спецификации YACC/Byacc практически без изменений, для этого достаточно добавить в них строки описания лексем; использовать уже имеющиеся программные средства. На основе приведенного формата спецификации довольно легко сгенерировать спецификации для Flex и BYacc, а затем сгенерировать с их помощью исходные тексты частей транслятора.

При генерации спецификации для Flex и BYacc некоторую трудность представляет формирование спецификации Flex. Для того чтобы ее получить, необходимо обработать все конструкции **% regexp** и **% token**. В спецификацию BYacc достаточно просто скопировать все, что не касается **% regexp.**

Возможность описания мультисинтаксиса реализуется четырьмя новыми ключевыми словами: **% tokengroup**, **% endtokengroup**, **% syntaxgroup**, **% endsyntaxgroup**,

размещаемыми в первой и второй частях входной спецификации и обладающих описанными ниже свойствами соответственно.

Ключевые слова **% tokengroup** и **% endtokengroup** играют роль операторных скобок, в которые заключаются группы регулярных выражений. Аналогично для групп продукций в качестве скобок выступают слова **% syntaxgroup** и **% endsyntaxgroup**. Обе «открывающие» скобки именуют начало группы и дают название процедурам, соответственно, лексического и синтаксического анализа для их дальнейшего использования (свойство *name*). Для групп продукций также указывается название «особенной лексемы» (свойство *kword*), а также наименование соответствующей групп лексем и регулярных выражений (свойство *tokengroup*). Кроме того, предусмотрена возможность импорта групп лексем и продукций из внешних файлов, при этом осуществляется проверка наличия таковых. Вложенность групп запрещается по описанным выше причинам.

Для обозначения «особенной лексемы» во входной спецификации анализатора-лидера можно использовать еще одно ключевое слово **% switchtoken**. Данная лексема обязана дважды присутствовать в спецификации: как обычная лексема и как «особенная». Приведем примеры возможных спецификаций (действия по генерации кода не приводятся).

1. Без импорта из внешнего файла:

```
%tokengroup name="arith_tokens"
%regexp letter [a-z]
%regexp digit [0-9]
%regexp IDENT letter(letter|digit)*
          %action% {strcpy($$,yytext);}
%regexp   NUM   digit+   %action%
{$$=atoi(yytext);}
%token <str> IDENT
%token <num> NUM
%endtokengroup
%switchtoken ARITH
%%
analyzer    :
            | analyzer '\n'
            | expressions analyzer
            ;
expressions : ARITH '{' arith_expressions
'}'
            ;
%syntaxgroup name="arith_expressions"
             kword=ARITH
             tokengroup="arith_tokens"
  expr : expr '+' expr | '(' expr ')' | IDENT
| NUM;
%endsyntaxgroup
%%
```

2. С импортом из внешнего файла:

```
%tokengroup name="arith_tokens"
%endtokengroup
%%
%syntaxgroup name="arith_expressions"
             kword="arith"
             tokengroup="arith_tokens"
%endsyntaxgroup
%%
```

Получаемый в результате работы программы усовершенствованный синтаксический анализатор языка-лидера при распознавании «особенной лексемы» временно приостанавливается, и осуществляется переключение на действия соответствующего вспомогательного анализатора, по завершению работы которого выполняется возврат наверх по иерархии анализаторов. В остальном лидер работает аналогично обычному синтаксическому анализатору.

Таким образом, описанный подход способствует заметному уменьшению времени на разработку компилятора, облегчает поиск ошибок в отлаживаемых программах синтаксического анализа на основе существующих спецификаций Flex и BYacc, а также снижает вероятность их появления за счет использования автоматизированного средства. Дальнейшая реализация автоматизированного средства должна подтвердить пользу от внедрения в практику разрабатываемой программы компиляции мультисинтаксических языков программирования, в особенности для мультиверсионного программного обеспечения.

Библиографический список

1. Ковалев, И. В. Программная система «NVX v1.0» (среда мультиверсионного исполнения программных модулей) / И. В. Ковалев [и др.] // Компьютерные учебные программы и инновации. 2005, № 6.

2. Хантер, Р. Основные концепции компиляторов / Р. Хантер. М. : Издательский дом «Вильямс», 2002. 256с.

3. Кузнецов, А. С. Инструментальное средство разработки трансляторов мультисинтаксических языков программирования / А. С. Кузнецов // Вестник университетского комплекса : сб. науч. тр. ; Красноярск : ВСФ РГУИТП, НИИ СУВПТ. 2006. Вып. 7(21). С. 227–230.

I. V. Kovalev, A. S. Kuznecov, E. A. Veretennikov

AUTOMATION OF PROCESS OF MULTI-SYNTAX PROGRAMMING LANGUAGE COMPILERS GENERATION

The developed program system raises the errors search effectiveness into the syntactical analysis programs based on the Flex и BYacc specifications.

УДК 519.8

А. А. Кузнецов, А. В. Журов

К ВОПРОСУ О ВЫБОРЕ КОНСТАНТ В МЕТОДАХ ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНОГО СГЛАЖИВАНИЯ ПРИ АНАЛИЗЕ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

Предложен способ выбора констант в методах экспоненциального сглаживания при анализе временных рядов.

Пусть дан временной ряд y_1, y_2, K, y_n. При анализе таких рядов одним из основных инструментов прогнозирования является метод экспоненциального сглаживания. В этом методе при $t \geq 1$ в момент времени $t+1$ прогнозируемое значение z_{t+1} будет равно

$$z_{t+1} = \alpha y_t + (1-\alpha) z_t ,$$

где α – определенная константа, причем $\alpha \in [0,1]$. До сих пор при прогнозировании данная константа определяется «интуитивно», «на глаз» [1]. В данной работе предлагается способ нахождения α, основанный на минимизации суммарной относительной погрешности.

Разобьем единичный отрезок $[0, 1]$ на n равных частей. Пусть

$$\alpha_j = \frac{j}{n},\ j = 0, 1, 2, ..., n .$$

Определим суммарные относительные погрешности для каждой α_j:

$$S(\alpha_j) = \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{z_i(\alpha_j) - y_i}{y_i} \right| ,$$

где $z_i = \alpha y_{i-1} + (1-\alpha) z_{i-1}$ при $i \geq 2$ и $z_1 = y_1$.

Методом перебора найдем j^*, при котором $S(\alpha_{j^*})$ принимает минимальное значение

$$S(\alpha_{j^*}) = \min_{j=0, 1, 2, ..., n} S(\alpha_j) .$$

В дальнейшем для прогнозирования будем использовать константу $\alpha = \alpha_{j^*}$.

Аналогичным образом предлагается находить константы в методе двухпараметрического экспоненциального сглаживания [1]. Пусть

$$\alpha_j = \frac{j}{n},\ j = 0, 1, 2, ..., n \text{ и } в_k = \frac{k}{n},\ k = 0, 1, 2, ..., n.$$

Определим

$$S(\alpha_j, в_k) = \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{z_i(\alpha_j, в_k) - y_i}{y_i} \right| .$$

Найдем

$$S(\alpha_{j^*}, в_{k^*}) = \min_{\substack{j=0, 1, 2, ..., n \\ k=0, 1, 2, ..., n}} S(\alpha_j, в_k) .$$

В дальнейшем для прогнозирования будем использовать константы $\alpha = \alpha_{j^*}$ и $в = в_{k^*}$.

Одним из достоинств данного метода является простота реализации на алгоритмических языках программирования.

Библиографический список

1. Федосеев, В. В. Экономико-математические методы и прикладные модели / В. В. Федосеев [и др.]. М. : ЮНИТИ, 2002.

A. A. Kuznetsov, A. V. Zhurov

TO THE QUESTION OF CONSTANTS CHOICE IN METHODS OF EXPONENTIAL SMOOTHING IN ANALYSIS OF TIME SERIES

It is offered a way for constants choice in methods of exponential smoothing in analysis of time series.

УДК 539.3

А. В. Лопатин, М. А. Рутковская

ОБЗОР КОНСТРУКЦИЙ СОВРЕМЕННЫХ ТРАНСФОРМИРУЕМЫХ КОСМИЧЕСКИХ АНТЕНН (Часть 2)

Представлен обзор конструкций современных трансформируемых космических антенн. Рассмотрены принципы классификации антенн.

Надувные антенны. Надувная антенна в сложенном состоянии имеет наименьший размер и небольшую массу. После запуска такая антенна раскрывается за счет надувания. Рефлектор антенны изготавливается из тонкого упругого материала. Его конструкция напоминает круглую параболическую подушку с прозрачной передней поверхностью и отражающей тыльной. По краю рефлектор подкрепляется надувным тором, с внутренним давлением во много раз больше, чем в самом рефлекторе (рис. 1). У надувных конструкций высокая степень надежности из-за простоты принципа раскрытия и небольшого количества отказов. Основным недостатком надувных антенн является необходимость иметь большой запас газа для поддержания высокого давления в торе, так как любое повреждение метеоритами приводит к утечке газа [1].

Рис. 1. 14-метровая надувная антенна в космосе

Этого недостатка лишена конструкция надувного тора из материала, который при высоких температурах или под влиянием солнечных ультрафиолетовых лучей медленно затвердевает [2]. Опорная конструкция производится из пластика, армированного волокнами материала прозрачного для ультрафиолетового излучения (рис. 2).

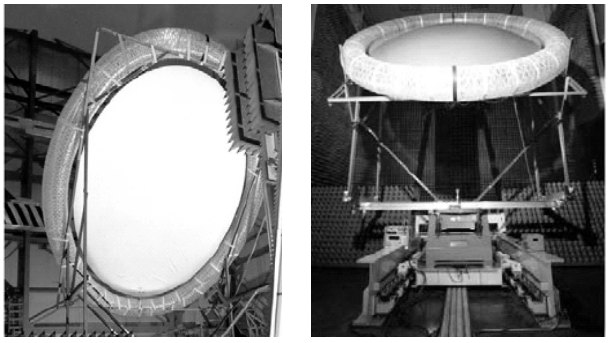


Рис. 2. Надувная антенна с жесткой опорной конструкцией тора

Надувной рефлектор, отверждаемый в космосе, был разработан компанией Contraves [3]. Рефлектор изготавливается из материала Kevlar, пропитанного резиной. Резина затвердевает в течение шести часов при температуре 110 °C. Такая температура легко достижима на орбите под действием прямых солнечных лучей. После затвердения газ, необходимый для надувания антенны, сбрасывается. Были построены три модели подобной антенны диаметром 3,5 м, 6 м и 12 м. Модель 12-метровой антенны показана на рис. 3.

Рис. 3. Модель 12-метровой надувной антенны, отверждаемой в космосе

Ферменные антенны. Концепция ферм натяжения была разработана K. Miura в 1986 г. [4] для создания высокоточных крупногабаритных раскрываемых рефлекторов. Новизна концепции ферм натяжения заключается в использовании в конструкции гибких элементов. Такая ферма может быть легко переведена в сложенное состояние. Главным преимуществом антенны с фермой натяжения является то, что точность поверхности может быть увеличена за счет уменьшения размера треугольных элементов без увеличения числа элементов опорной конструкции. Радиоотражающая сетка крепится непосредственно к фермам натяжения.

В Японии были разработаны два различных типа антенн на основе концепции ферм натяжения [5]. Их основное отличие заключается в опорной конструкции. Антенна диаметром 8 м для лаборатории Highly Advanced Laboratory for Communications and Astronomy (HALCA), разработанная Исследовательским институтом Космоса и Астронавтики (Institute of Space and Astronautical Science), показана на рис. 4. Из основной платформы, ферма натяжения раскрывается с помощью ферм-мачт.

A. G. Tibert [5; 6] представил подход для проектирования жестких антенн из ферм с предварительным натяжением. Данный подход сочетает основное правило для конструирования жестких ферм с эффективным методом отыскания формы для конструкций из вантовых сетей. Во-первых, создаются статически определимые конфигурации ферм натяжения для данной опорной конструк-

ции. Далее, генерируются преднапряженные геометрии ферм натяжения с использованием метода отыскания форм. Были проанализированы три антенны с фермами натяжения с различными опорными конструкциями.

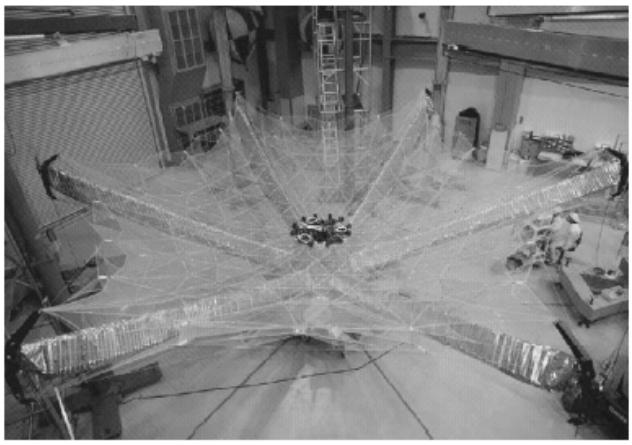


Рис. 4. Антенна из ферм с предварительным натяжением

Большой интерес в области разворачивающихся антенн вызывают элементы конструкции, использующие эффект бистабильности (упругого перехода из одного устойчивого состояния в другое). В работе E. Kebadze, S. D. Guest и S. Pellegrino [7] исследована вытянутая цилиндрическая оболочка, полученная пластическим деформированием металлической ленты. При этом обеспечивается такое распределение остаточных напряжений, которое обеспечивает два устойчивых состояния.

C. J. Gantes и E. Konitopoulou [8] разработали новый дизайн разворачивающейся бистабильной конструкции. Основная идея заключается в использовании элементов типа ножницы (SLE). В таких элементах пара стержней соединяется друг с другом в помежуточных точках шарнирами, которые позволяют им свободно вращаться относительно оси перпендикулярной их общей плоскости, но ограничивают другие степени свободы. Элементы крепятся друг к другу в конечных точках, формируя на виде сверху треугольные, квадратные или шестиугольные элементы. Эти полигоны по очереди соединяются в механизм, образующий конструкцию, которая в развернутом состоянии может быть как плоской, так и криволинейной (рис. 5).

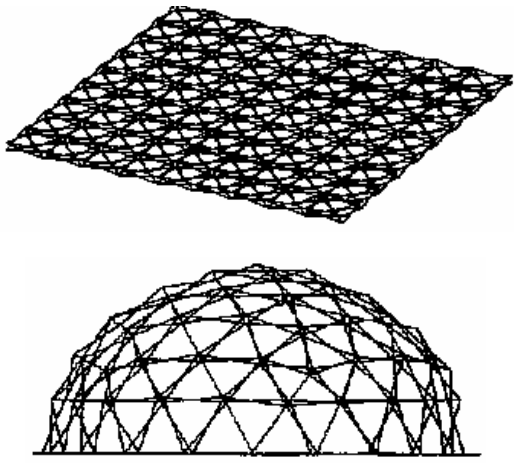


Рис. 5. Конструкция в развернутом состоянии

M. W. Thomson и TRW Astro Aerospace разработали современную антенну с крупногабаритным раскрываемым рефлектором AstroMesh [9; 10]. Антенна, показанная на рис. 6, имеет диаметр 12,25 м и вес 55 кг. В сложенном состоянии ее диаметр 1,3 м, а высота 3,8 м. AstroMesh состоит из двух идентичных параболических сетей, прикрепленных к раскрываемой кольцевой ферме. Вся конструкция натягивается с помощью пружин называемых растяжками, присоединенных к узлам двух сетей. Радиоотражающее сетеполотно крепится к тыльной стороне фронтальной сети. Раскрытие осуществляется за счет сокращения длины шнура, который проходит через телескопические диагональные элементы обода. Составляющие AstroMesh показаны на рис. 7.

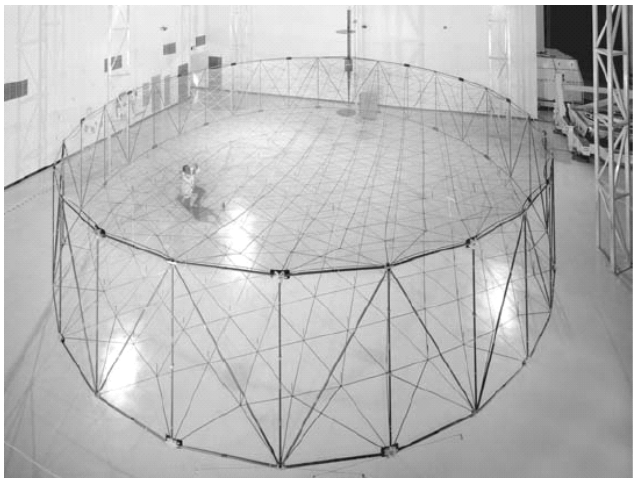


Рис. 6. Рефлектор AstroMesh

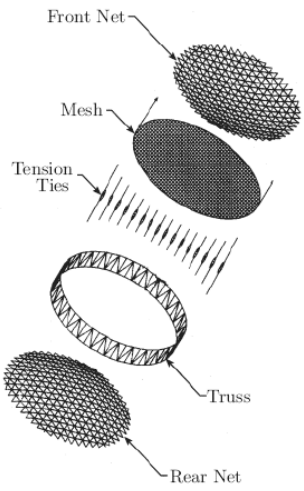


Рис. 7. Концепция AstroMesh

A. G. Tibert и S. Pellegrino [11] предложили новую концепцию разворачивающегося рефлектора. Конструкция рефлектора базируется на концепции ферм с предварительным натяжением. В отличие от AstroMesh конструкция не имеет соединений между элементами сжатия, а также соединения между растяжками и элементами сжатия упрощены.

Крупногабаритная разворачивающаяся конструкция рефлектора, разработанная H. Tsunoda, K. Hariu и другими, состоит из шестиугольных элементов [12]. Конструкция рефлектора включает сетеполотно и разворачиваю-

щуюся ферменную конструкцию (рис. 8). Разворачивание происходит за счет накопленной энергии винтовой пружины, расположенной на верхнем изгибном стержне. Схема разворачивания показана на рис. 9.

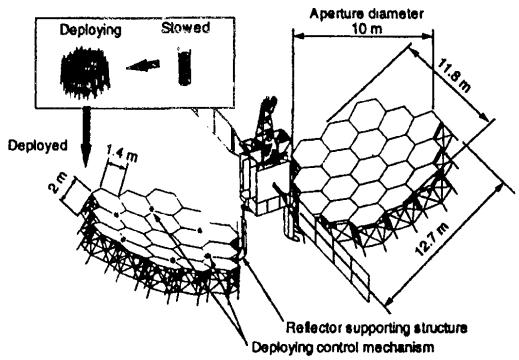


Рис. 8. Конструкция антенны

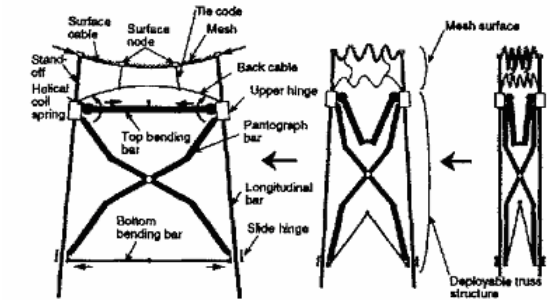


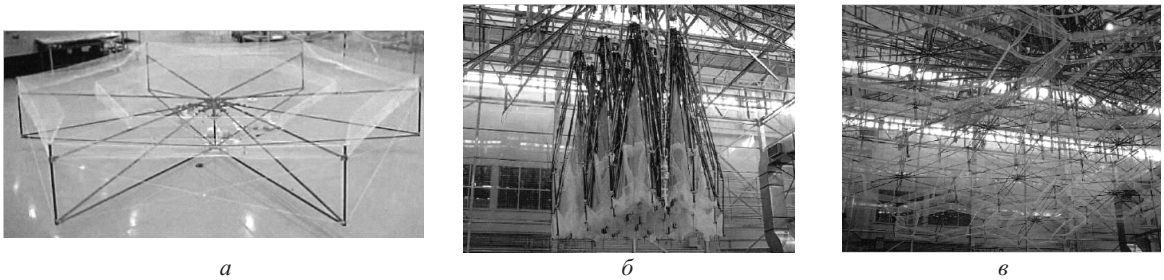
Рис. 9. Схема разворачивания рефлектора

Модульная конструкция рефлектора диаметром 19 м, состоящая из 14 шестигранных разворачиваемых ячеек (рис. 10), подробно изучена японскими учеными [13]. Один модуль LDR антенны показан на рис. 10, *а.* Раскрытие такой антенны происходит наподобие открытия автоматического зонта. Основная пружина, расположенная в центре модуля, и дополнительные пружины, установленные в конструкции, запасают достаточно сил для начального открытия. Конструкция LDR антенны в сложенном и развернутом состоянии показана на рис. 10, *б*, *в*.

Лаборатория разворачивающихся конструкций (DSL) разработала пантографную антенну, подкрепленную тросами (CSPDA (рис. 11)) [14]. Разворачивающаяся кольцевая конструкция состоит из трех разных пар стержней, соединенных шарнирами типа ножницы. Пары стержней соединены на концах, образуя круглую пантографную конструкцию. Модель диаметром 3,5 м имеет 12 сторон и состоит из 48 пантографных элементов. Двухслойная кабельная сеть, которая поддерживает сетеполотно, прикреплена к кольцевой конструкции. В стартовой конфигурации ее диаметр и длина 0,6 и 1,2 м соответственно.

Складные антенны. Новая концепция складной легкой антенны FLATS (Folding Large Antenna Tape Spring) представлена в работе O. Soykasap, S. Pellegrino и др. [15]. Эта антенна предназначена для измерения уровня биомассы Земли на низких частотах (0,435 ГГц). Монолитная облучающая антенная решетка и излучающие панели соединены двумя листами из Кевлара в криволинейную конструкцию. Один лист поддерживает решетку, другой – плоский рефлектор. После складывания вся конструкция может вернуться в первоначальное состояние без повреждений благодаря упругому элементу из Кевлара, соединяющего оба листа. Антенна в сложенном и развернутом состоянии показана на рис. 12. Модель одного крыла антенны FLATS представлена на рис 13. Упругий элемент позволяет сложить секцию антенны под углом 180° (рис. 14).

Сравнение антенн. Классификация различных типов антенн по рабочей частоте в зависимости от их диаметра показана на рис. 15 [16]. Самой большой точностью поверхности обладают неразворачиваемые антенны с жесткой отражающей поверхностью, но их размер ограничен размерами ракеты-носителя. Несколько больших размеров можно достичь, используя разворачиваемые конструкции с жесткой отражающей поверхностью. В настоящее время наиболее используемыми являются антенны с сетчатой радиоотражающей поверхностью, обладающие достаточно высокой точностью при больших размерах. Надувные конструкции антенн наименее точные, но могут достигать самых больших размеров.



а *б* *в*

Рис. 10. Антенна LDR: *а* – один модуль антенны; *б* – в сложенном состоянии; *в* – в развернутом состоянии

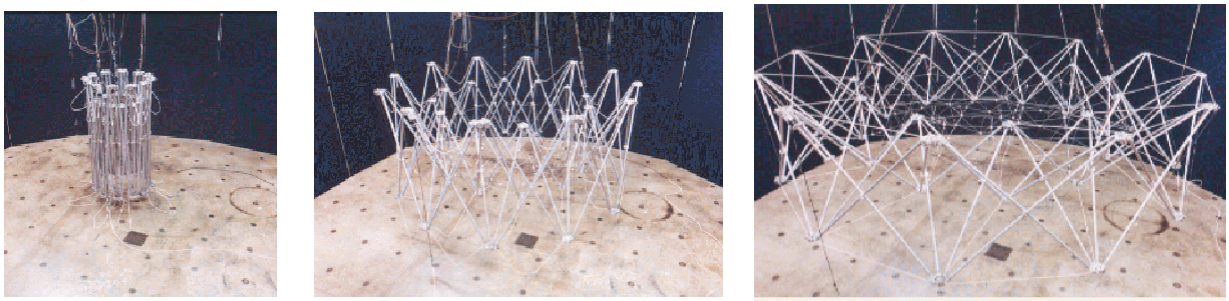


Рис. 11. Схема раскрытия пантографной антенны

Библиографический список

1. Freeland, R. E. Development of flight hardware for a large, inflatable-deployable antenna – experiment / R. E. Freeland, G. D. Bilyeu, G. R. Veal // Acta astronautica: 46th Int. Astron. Fed. Congress, Oslo, 2-6 Oct. 1995 1996. 38, № 4–8. P. 251–260.

2. Chodimella, S. P. Design evaluation of a large aperture deployable antenna /S. P. Chodimella [at al.] // AIAA Papers. 2006. № 1603. P. 1–20.

3. Reibaldi, G. G. QUASAT program: the ESA reflector / G. G. Reibaldi, M. C. Bernasconi // Acta astronautica. 1987. 15 № 3. P. 181–187.

4. Miura, K. Concept of the tension truss antenna // AIAA Papers / K. Miura, Y. Miyazaki 1990. № 28. P. 1098–1104.

5. Tibert, G. Deployable Tensegrity Structures for Space Applications ; Doctoral Thesis. TRITA-MEK Technical Report 2002:04. /G. Tibert: Department of Mechanics, Royal Institute of Technology. Stockholm, Sweden, 2002.

6. Tibert, A. G. Optimal design of tension truss antennas / A. G. Tibert // AIAA Papers. 2003. № 1629. P. 1–11.

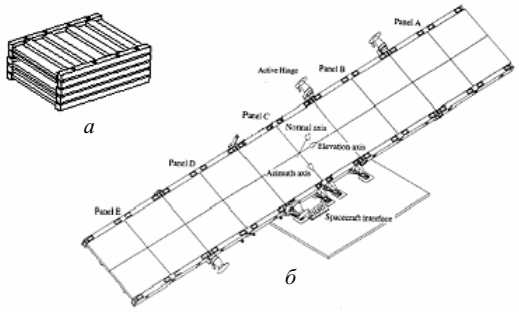


Рис. 12. Антенна FLATS: *а* – в сложенном состоянии; *б* – в развернутом состоянии

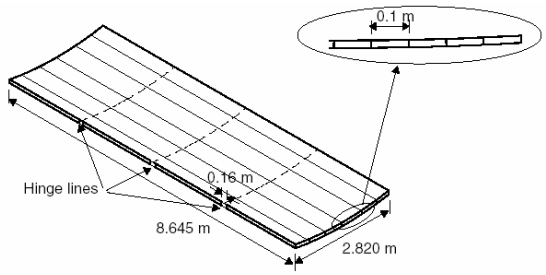


Рис. 13. Модель FLATS (одно крыло)

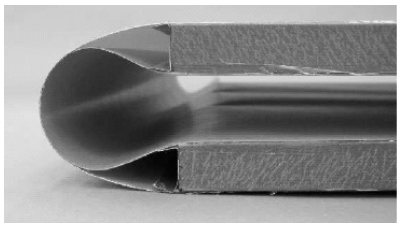


Рис. 14. Фрагмент антенны в сложенном состоянии

7. Kebadze, E. Bistable prestressed shell structures // International Journal of Solids and Structures / E. Kebadze, S. D. Guest, S. Pellegrino 2004. № 41. P. 2801–2820.

8. Cantes, C. J. Geometric design of arbitrarily curved bi-stable deployable arches with discrete joint size / C. J. Gantes, E. Konitopoulou // International Journal of Solids and Structures. 2004. № 41. P. 5517–5540.

9. Thomson, M. W. The AstroMesh deployable reflector / M. W.Thomson // 6th International Mobile Satellite Conference. Ottawa, 1999 June P. 230–233.

10. Thomson, M. W. AstroMesh deployable reflectors for KU- and KA-band commercial satellites / M. W. Thjmson // AIAA Papers. 2002. № 2032. P. 1–9.

11. Tibert, A. G. Furlable reflector concept for small satellites / A. G. Tibert, S. Pellegrino // AIAA Papers. 2001. № 1261. P. 1–11.

12. Tsunoda, H. Structural design and deployment test methods for a large deployable mesh reflector / H. Tsunoda, K. [et al.] // AIAA Papers. 1997. № 1148. P. 2963–2971.

13. Shintate, K. Large Deployable Reflector (LDR) / K. Shintate [et al.] // Journal of the National Institute of Information and Communications Technology. Vol. 50. № 3/4. 2003. P. 33–39.

14. You, Z. Cable-stiffened pantographic deployable structures: P. 2. Mesh reflector / Z. You, S. Pellegrino // AIAA Papers. 1997. 35, № 8. P. 1348–1355.

15. Soykasap, O. Tape Spring Large Deployable Antenna / O. Soykasap [et al.] // 47 th AIAA / ASME / ASCE / AMS / ASC Structures, Structural Dynamics and Matenials Conferenc. Newpart, Rhode Island. 2006. 1–4 May. № 1601. P. 1–12.

16. Imbriale, W. Spaceborne Antennas for Planetary Exploration /W. Imbriale NJ. : John Wiley and Sons, 2006. 592 p.

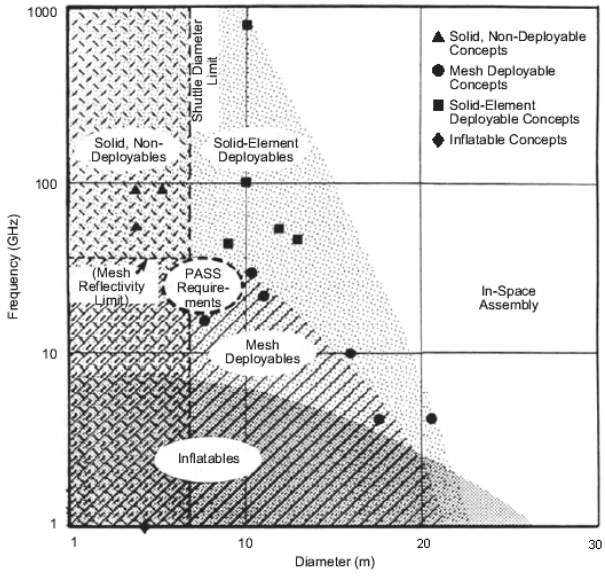


Рис. 15. Классификация различных типов антенн

A. V. Lopatin, M. A. Rutkovskaya

THE REVIEW OF DESIGNS OF MODERN TRANSFORMED SPACE ANTENNAS (Part 2)

The review of designs of modern transformed space antennas is executed. Principles of classification of antennas are considered.

УДК 629.7

П. Р. Чирков, Н. В. Никушкин

АДАПТИВНЫЕ КРЫЛЬЕВЫЕ СИСТЕМЫ В ПРИЛОЖЕНИИ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ АПЕРИОДИЧЕСКОЙ ПРОДОЛЬНОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ЭКРАНОПЛАНА ВБЛИЗИ ОПОРНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Рассмотрена возможность поддержания продольной устойчивости экраноплана в режиме полета вблизи опорной поверхности при помощи крыла с адаптивной нижней поверхностью. Этот способ обеспечения продольной устойчивости экраноплана может применяться как основной или дополнительный к уже известным.

Полет экраноплана осуществляется на малой относительной высоте $\bar{h} = h/b$ (здесь h – высота над поверхностью экрана, отсчитываемая от задней кромки крыла; b – хорда крыла) с тем, чтобы максимально использовать благоприятный эффект экранирующей поверхности. При полете на малом расстоянии от экрана существенно возрастает роль профиля крыла экраноплана. Это связано с тем, что расстояние до экрана соизмеримо с толщиной c или вогнутостью f крыла, поэтому небольшие изменения в геометрии профиля, которые в неограниченном потоке не приводят к заметным изменениям аэродинамических характеристик крыла, вблизи экрана могут существенно изменить характер обтекания.

При решении вопросов устойчивости экраноплана существенное значение имеют характеристики устойчивости крыла. Анализ линеаризованных уравнений возмущенного движения экраноплана, проведенный в работе [1], показал, что устойчивость экраноплана в короткопериодическом движении определяется критерием, предъявляющим особые требования к аэродинамической компоновке летательного аппарата (ЛА). Для оценки характера возмущенного движения наряду с фокусом по углу атаки F_α (рис. 1) следует рассматривать фокус по высоте над экраном F_h. Для обеспечения статической устойчивости экраноплана в соответствии с критерием Иродова, кроме выбора соответствующей центровки, необходимо, чтобы фокус по высоте F_h над экраном находился впереди фокуса по углу атаки F_α. У большинства аэродинамических профилей с приближением к экрану F_h смещается к задней кромке и находится позади F_α. С учетом критерия Иродова появляется возможность с помощью изменения формы профиля управлять положением этих фокусов. Параметрический анализ экспериментальных данных [2] позволяет установить ряд закономерностей влияния толщины и кривизны профиля крыла на расположение его фокусов. При определении характеристик устойчивости расстояние от экрана отчитывалось от точки, расположенной на середине хорды крыла, что соответствует возможному расположению центра масс экраноплана.

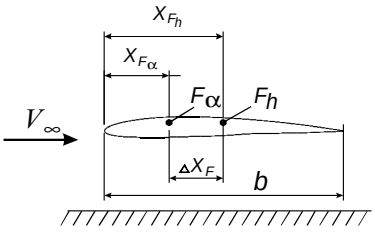


Рис. 1

Результаты анализа экспериментальных данных [2] показывают, что в отношении подъемной силы влияние толщины крыла вблизи экрана сказывается более существенно, чем в неограниченном полете. Существенно зависит от толщины крыла приращение подъемной силы, вызванное близостью экрана. Зависимость приращения коэффициента подъемной силы Cy от относительной толщины профиля крыла $\bar{c}$ при уменьшении $\bar{h}$ от 0,3 до 0,1 показана на рис. 2. Увеличение толщины крыла приводит к уменьшению положительного влияния экрана на подъемную силу примерно на 40 %.

Приведем зависимость расстояния между фокусами $\Delta x_F = x_{Fh} - x_{F\alpha}$ от толщины и вогнутости профиля для различных значений $\bar{h}$ (рис. 3). В соответствии с критериями апериодической устойчивости [1] знак при Δx_F определяет характер возмущенного движения ЛА. У крыла, имеющего малую $\bar{c}$, фокус F_α находится впереди F_h (здесь $\Delta x_F > 0$). С увеличением $\bar{c}$ и отходом от экрана расстояние между фокусами уменьшается.

Основной целью анализа работ [2; 3] было выявление особенностей влияния формы адаптирующегося профиля на аэродинамическое качество крыла вблизи экрана. Приведем зависимости максимального аэродинамического качества K_{max} от относительной вогнутости профиля $\bar{f} = f/b$ (рис. 4). С приближением крыла к экрану на малое расстояние влияние вогнутости профиля на аэродинамическое качество усиливается. Например, значение K_{max} при $Cy = 0{,}5$ у такого крыла существенно уменьшается при отходе от экрана, предотвращая уход крыла с заданного режима полета. Зависимости K_{max} и $K_{Cy} = 0{,}5$ от толщины крыла показаны на рис. 5. Отсюда следует, что при малой вогнутости ($\bar{f}$ = 1 %) с увеличением толщины уменьшается K_{max}.

Анализ экспериментальных данных показывает возможность реализации крыла с адаптивной нижней поверхностью в обеспечении предотвращения ухода экраноплана с заданного режима путем уменьшения подъемной силы крыла при адаптации его профиля.

Для достижения K_{max}, на основных режимах полета $\bar{h}$ = 0,1 – 0,2, необходимо иметь исходный профиль малой относительной толщины ($\bar{c}$ = 6 %) и кривизны ($\bar{f}$ = 1 %) с углами установки крыла $\alpha_{уст}$ при $Cy_\alpha = 0{,}4; 0{,}5$ профиля.

Переход к профилям малой кривизны приводит к необходимости применения двояковыпуклых профилей, у которых при малых углах атаки проявляется эффект трубки Вентури (эффект подсасывания), уменьшающий положительный эффект экрана, что ограничивает возможности использования таких профилей.

Анализ экспериментальных данных исследования крыльев с *S*-образными профилями (с отклонением хвостового участка ~ 25 % хорды на угол δ) в режиме адаптации показывает, что здесь существенно усиливается влияние экрана на расположение фокусов (рис. 6). При определенном расстоянии $\bar{h}$ фокус F_h оказывается впереди F_α. Применение адаптирующихся *S*-образных крыльев с их удовлетворительными аэродинамическими характеристиками, предпочтительно с точки зрения обеспечения критерия статической устойчивости ($\Delta x_F < 0$).

Реализовать возможность управления положением аэродинамических фокусов по высоте над экраном x_{Fh} и по углу атаки $x_{F\alpha}$ позволяет крыло экраноплана [4], обеспечивающее получение закона изменения давлений под крылом P_∞ и статического давления в крыле $P_{ст}$ с гибкой нижней оболочкой, подкрепленной упругими латами ($\Delta P = P_{ст} - P_\infty - F_л$, где $F_л$ – упругость лат) на изменение геометрии профиля крыла, определяющего аэродинамические параметры вблизи экрана. В полете вблизи экрана разность давлений в крыле и под ним обеспечивает исходную форму профиля крыла с его исходными аэродинамическими параметрами. С отходом от экрана $P_{ст}$ становится больше P_∞ и упругости формообразующих лат $F_л$. Равновесие этих параметров обеспечивается изменением формы профиля (адаптации) с соответствующим изменением аэродинамических параметров профиля, что предотвращает увеличение высоты полета над поверхностью экрана и уход экраноплана с заданного режима полета.

Аппроксимация экспериментальных зависимостей зменения давления ΔCp серии профилей (CLARK-YH,

$\bar{f}$	5	5	3	1	1
$\bar{h}$	0,1	0,2	0,3	0,3	0,4
№	1	2	3	4	5

$\bar{f}$	5	3	3	1
$\bar{h}$	0,1	0,2	0,3	0,4
№	1	2	3	4

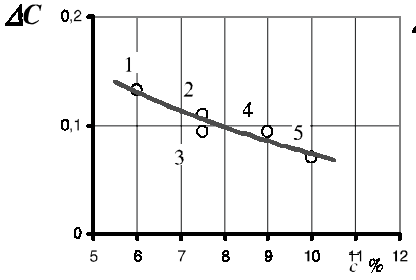


Рис. 2

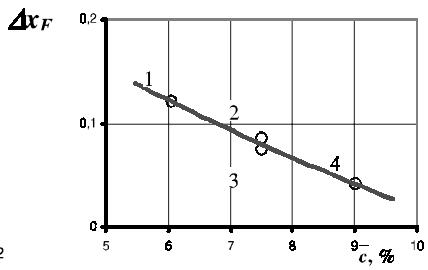
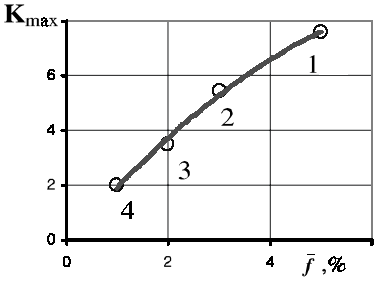
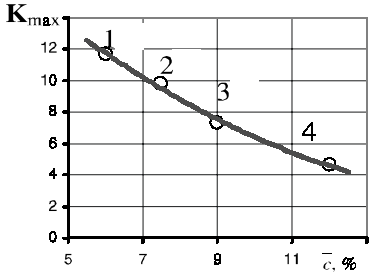


Рис. 3

$\bar{c}$	6	9	9	12
$\bar{h}$	0,1	0,2	0,3	0,4
№	1	2	3	4



$\bar{f}$	5	3	3	1
$\bar{h}$	0,1	0,2	0,3	0,4
№	1	2	3	4



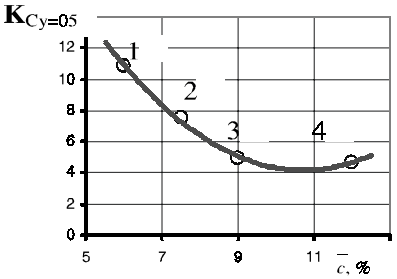


Рис. 4

Рис. 5

δ	0°	-5°	-7.5°	-10°
$\bar{h}$	0.1	0.2	0.3	0.4

Cy	0.4	0.5	0.6
x_{Fa}	○	Δ	□
x_{Fh}	●	▲	■

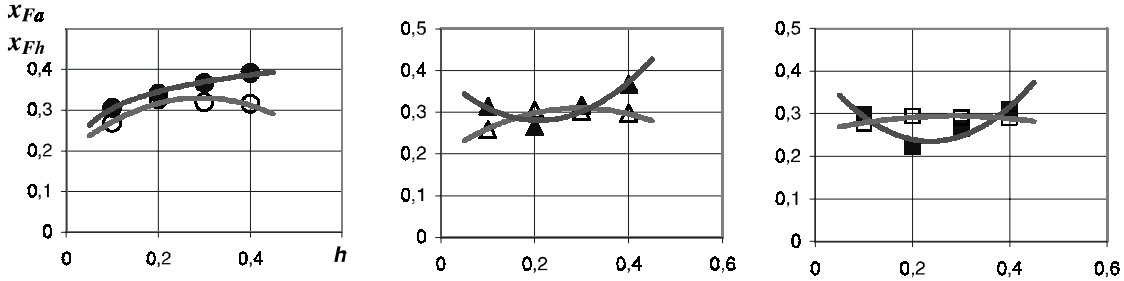


Рис. 6

CLARK-Y, NACA, ЦАГИ В) в диапазонах относительной высоты 0,1 $\bar{h}$ ...1 $\bar{h}$ и угла атаки Δ4…14° имеет вид

$$\Delta Cp = 0{,}326\,336 + 0{,}009\,614\,134 \cdot \alpha - 0{,}555\,815\,8 \cdot \bar{h} - 0{,}022\,25 \cdot \alpha \cdot \bar{h} - 0{,}001\,003\,4 \cdot \alpha^2 + ... + ... 0{,}335\,391 \cdot \bar{h}^{\,2}.$$

Зависимость распределения давления по нижней поверхности крыла от высоты полета (рис. 7) позволяет определить величину управляющего усилия (распределенной нагрузки), действующего как разница давлений в крыле и под крылом на его элементы, что дает возможность рассчитать конструкцию адаптивного крыла.

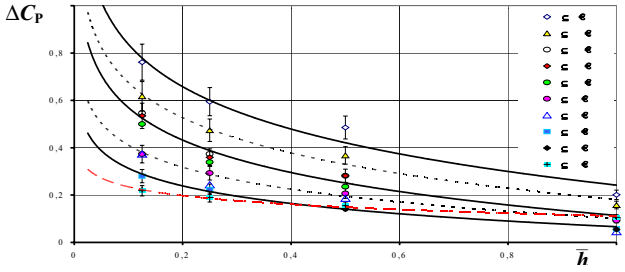


Рис. 7

Библиографический список

1. Иродов, Р. Д. Критерии продольной устойчивости экраноплана / Р. Д. Иродов // Ученые записки Центрального аэрогидродинамического института имени Н. Е. Жуковского. Т. 1. 1970. № 4.

2. Гадецкий, В. Н. Влияние формы профиля на аэродинамические характеристики крыла вблизи экрана / В. Н. Гадецкий // Труды Центрального аэрогидродинамического института имени Н. Е. Жуковского. М., 1985. Вып. 2304.

3. Архангельский, В. Н. Расчетное исследование влияние параметров профиля на его аэродинамические характеристики вблизи экрана / В. Н. Архангельский, С. И. Коновалов // Труды Центрального аэрогидродинамического института имени Н. Е. Жуковского. М., 1985. Вып. 2304.

4. А. с. 1189026. Крыло экраноплана. 1985.

P. R. Chirkov, N. V. Nikushkin

ADAPTIVE WING SYSTEMS IN THE APPENDIX TO SECURITY OF APERIODIC LONGITUDINAL ECRANOPLAN STABILITY A NEAR TO A REFERENCE SURFACE

The capability of maintaining of longitudinal ecranoplan stability in a condition of flight near to a reference surface is considered by means of a wing with an adaptive lower surface. This mode of security of longitudinal ecranoplan stability may be applied as the main(basic) or additional to already known.

УДК 629.7

В. В. Лукасов, А. В. Кацура

РАСПОЗНАВАНИЕ НЕИСПРАВНОСТЕЙ СИСТЕМ И АГРЕГАТОВ ВОЗДУШНЫХ СУДОВ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЕРОЯТНОСТНОГО МЕТОДА БАЙЕСА

Приведен алгоритм определения неисправностей систем летательных аппаратов с применением вероятностного метода распознавания.

Летательные аппараты (ЛА) являются одной из самых сложных технических систем. Но как любое техническое изделие, ЛА имеют свойство отказывать, т. е. прерывать процесс функционирования, а это снижает надежность и безопасность полетов.

Как показывает практика, большая часть времени, при устранении отказа, тратится на поиск причины неисправности. Для решения этой проблемы надежность как наука предлагает применять методы распознавания, которые подразделяются на вероятностные и детерминистические.

Среди вероятностных методов наиболее часто используется теорема гипотез, основанная на формуле Байеса:

$$P\left(S_i / k_j\right) = P\left(S_i\right)\frac{P\left(k_j / S_i\right)}{P\left(k_j\right)}, \qquad (1)$$

где $P(S_i)$ – вероятность появления состояния S_i, определяемая по выражению с использованием статистических данных

$$P(S_i) = N_i / N /; \qquad (2)$$

$P\left(k_i / S_i\right)$ – вероятность проявления признака k_i у объектов с состоянием S_i. Если среди N_i объектов, находящихся в состоянии S_i, у N_{ij} проявился признак k_i, то

$$P\left(k_j / S_i\right) = \frac{N_{ij}}{N_i}. \qquad (3)$$

Вероятность отсутствия признака k_{ij} у изделий с состоянием S_i. равна

$$P\left(\overline{k_j} / S_i\right) = 1 - P\left(k_j / S_i\right), \qquad (4)$$

где $P\left(k_j\right)$ – вероятность появления признака k_i во всех объектах независимо от состояния объекта

$$P\left(S_i\right) = N_i / N. \qquad (5)$$

Часто признак проявляется не один, а одновременно несколько, т. е. может быть комплекс признаков.

Если комплекс признаков состоит из v признаков, то

$$P\left(K^* / S_i\right) = P\left(k_1^* / S_i\right)P\left(k_1^* k_2^* / S_i\right)...P\left(k_v^* k^*_{v-1}...k^*_1 / S_i\right), \qquad (6)$$

где $k^*_j - k_{js}$ – разряд признака, выявившийся в ходе эксплуатации. Для диагностически независимых признаков

$$P\left(K^* / S_i\right) = P\left(k_1^* / S_i\right) P\left(k_2^* / S_i\right) ... P\left(k_v^* / S_i\right). \quad (7)$$

В практических задачах, особенно при большом числе признаков, можно принимать условие независимости признаков даже при наличии существенной корреляции между ними.

Вероятность проявления комплекса признаков $P(K^*)$ определяется по выражению

$$P\left(K^*\right) = \sum_{S=1}^{n} P\left(S_c\right) P\left(K^* / S_c\right). \quad (8)$$

Для комплекса признаков формула Байеса становится обобщенной и может быть записана в виде

$$P\left(S_i / K^*\right) = \frac{P\left(S_i\right) P\left(K^* / S_i\right)}{\sum_{S=1}^{n} P\left(S_c\right) P\left(K^* / S_c\right)} \quad (9)$$

и

$$\sum_{i=1}^{n} P\left(S_i / K^*\right) = 1,$$

т. е. одно из состояний обязательно реализуется, а реализация одновременно двух состояний невозможна.

Обобщенная формула Баейса является основой для применения в любой области техники. Но прямое ее использование не дает требуемого результата. Чтобы достичь его (определение неисправности, отказа по теореме гипотез), необходимо взять конкретный объект, определить возможные варианты проявления признаков в неисправных состояниях и условия расчета и анализа.

Затем обобщенную формулу Баейса необходимо развить, углубить и путем преобразования построить требуемые расчетные математические выражения.

После этого составляется алгоритм поиска неисправностей.

Рассмотрим предлагаемую методику на примере масляной системы двигателя Д-ЗОКУ-154.

Определим возможные *варианты* проявления признаков в неисправных состояниях:

вариант 1 – проявление одного признака в одном неисправном состоянии;

вариант 2 – проявление одного признака в двух неисправных состояниях;

вариант 3 – проявление двух признаков в одном неисправном состоянии;

вариант 4 – проявление двух признаков в двух неисправных состояниях;

вариант 5 – проявление двух признаков в трех неисправных состояниях;

вариант 6 – проявление трех признаков в двух неисправных состояниях.

В каждом варианте необходимо рассматривать предлагаемые неисправные состояния с учетом возможного проявления признаков. Для этого нам целесообразно определить *условия*, при которых признаки будут рассматриваться как *случаи*, а неисправные состояния как *вариации*.

Условия расчета и анализа предусматривают:

1) выполнение анализа по следующим *случаям*:

случай 1) – при одновременном проявлении всех признаков;

случай 2) – при не проявлении первого признака;

случай 3) – при не проявлении второго признака;

случай 4) – при не проявлении обоих признаков.

При наличии трех и более признаков, количество случаев возрастает, например, при 3 признаках случаев уже 8;

2) рассмотрим для каждого случая *вариации* – появление неисправных состояний, у которых могут проявиться одни и те же признаки:

вариация 1) – для первого рассматриваемого неисправного состояния (S_1);

вариация 2) – для второго рассматриваемого неисправного состояния (S_2);

вариация 3) – для третьего рассматриваемого неисправного состояния (S_3).

Эти условия применимы только для того варианта, в котором одновременно имеется два и более признака, два и более неисправных состояния.

Каждое неисправное состояние необходимо рассматривать по всем случаям проявления и (или) не проявления признаков, а также их сочетания.

Для удобства и большей наглядности необходимо построить диагностическую матрицу общего вида (таблица), которая будет состоять из столбцов (в первом проставляем значения неисправных состояний, во втором и последующих – вероятности $P\left(k_j / S_i\right)$, а в последнем – значения вероятностей $P(S_i)$) и строк, в каждой из которых размещаем конкретное значение неисправного состояния.

Такую таблицу используют для получения необходимых предварительных расчетных данных.

Рассмотрим получение выражений для наиболее сложного *варианта 5*: проявление двух признаков $\left(k_1\ \theta\ k_2\right)$ в трех неисправных состояниях $\left(S_1, S_2, S_3\right)$. Рассмотрим четыре случая при проявлении или не проявлении двух признаков и их сочетание в 3 вариациях, т. е. для трех неисправных состояний.

Вариация 1) – для первого неисправного состояния $\left(S_1\right)$:

для *случая 1*) – одновременное проявление двух признаков $\left(k_1\ \theta\ k_2\right)$ в неисправном состоянии S_1. Используя обобщенную формулу Баейса (9), приходим к выводу, что это отношение, где в числителе произведение значений вероятности появления первого неисправного состояния, на вероятности проявления первого признака в первом неисправном состоянии и вероятность проявления второго признака в первом неисправном состоянии. В знаменателе сумма произведений трех слагаемых, первое из которых произведение значений вероятности появления первого неисправного состояния на вероятности проявления первого и второго признаков в первом неисправном состоянии, второе и третье слагаемое – аналогичные выражения первому, только по второму и третьему неисправным состояниям:

$$P\left(S_1 / k_1 k_2\right) = \frac{P\left(S_1\right) P\left(k_1 / S_1\right) P\left(k_2 / S_1\right)}{P\left(S_1\right) P\left(k_1 / S_1\right) P\left(k_2 / S_1\right) + P\left(S_2\right) P\left(k_1 / S_2\right) P\left(k_2 / S_2\right) + P\left(S_3\right) P\left(k_1 / S_3\right) P\left(k_2 / S_3\right)}. \quad (10)$$

Аналогичными действиями получены выражения для *случая 2*) – при не проявлении первого признака в неисправном состоянии S_1 – $P\left(S_1 / \overline{k}_1 k_2\right)$:

$$P\left(S_1 / \overline{k}_1 k_2\right) = \frac{P\left(S_1\right) P\left(k_1 / S_1\right) P\left(k_2 / S_1\right)}{P\left(S_1\right) P\left(\overline{k}_1 / S_1\right) P\left(k_2 / S_1\right) + P\left(S_2\right) P\left(\overline{k}_1 / S_2\right) P\left(k_2 / S_2\right) + P\left(S_3\right) P\left(\overline{k}_1 / S_3\right) P\left(k_2 / S_3\right)}. \quad (11)$$

для *случая 3*) – при не проявлении второго признака в S_1 – $P\left(S_1 / k_1 \overline{k_2}\right)$:

$$P(S_1/k_1\bar{k}_2)=\frac{P(S_1)P(k_1/S_1)P(\bar{k}_2/S_1)}{P(S_1)P(k_1/S_1)P(\bar{k}_2/S_1)+P(S_2)P(k_1/S_2)P(\bar{k}_2/S_2)+P(S_3)P(k_1/S_3)P(\bar{k}_2/S_3)},$$

для *случая 4*) - при не проявлении обоих признаков в $S_1 - P(S_1/k_1\bar{k}_2)$:

$$P(S_1/\bar{k}_1\bar{k}_2)=\frac{P(S_1)P(k_1/S_1)P(\bar{k}_2/S_1)}{P(S_1)P(\bar{k}_1/S_1)P(\bar{k}_2/S_1)+P(S_2)P(\bar{k}_1/S_2)P(\bar{k}_2/S_2)+P(S_3)P(\bar{k}_1/S_3)P(\bar{k}_2/S_3)} \quad (13)$$

Далее рассмотрим *вариации 2*) *варианта 5*: для второго неисправного состояния (S_2)

Выполняя действия, аналогичные *вариации 1*), получим выражения для одновременного проявления двух признаков (k_1 и k_2) в $S_2 - P(S_2/k_1k_2)$, для не проявления первого признака в $S_2 - P(S_2/k_1\ \theta\ k_2)$, для не проявления второго признака в $S_2 - P(S_2/k_1\ \theta\ \bar{k}_2)$, для не проявления двух признаков в $S_2 - P(S_2/k_1\ \theta\ k_2)$.

Вариация 3) – для третьего неисправного состояния (S_3).

Выполняя действия, аналогичные *вариации 2*), получим выражения для третьего неисправного состояния (S_3): $P(S_3/k_1k_2)$; $P(S_3/\bar{k}_1k_2)$; $P(S_3/k_1\bar{k}_2)$; $P(S_3/\bar{k}_1\bar{k}_2)$.

Вариант 6 необходимо рассматривать по 7 случаям: при проявлении или не проявлении трех признаков и их комбинации, и в 2 вариациях, т. е. для двух неисправных состояний.

Вариация 1) для первого рассматриваемого неисправного состояния (S_1).

Для *случая 1*) - одновременное проявление трех признаков (k_1, k_2 и k_3) в неисправном состоянии S_1 Используя обобщенную формулу Баейса (9), выводим выражение – $P(S_1/k_1k_2k_3)$. Это отношение, где в числителе произведение значений вероятности появления первого неисправного состояния на вероятности проявления первого, второго и третьего признаков в первом неисправном состоянии; в знаменателе сумма из двух слагаемых, первый из которых – произведение вероятностей (значение), полученное в числителе, т. е. по первому неисправному состоянию; второе слагаемое аналогично первому выражению, только по второму неисправному состоянию.

В этом варианте получим выражение вида

$$P(S_1/k_1k_2k_3)=\frac{P(S_1)P(k_1/S_1)P(k_2/S_1)P(k_3/S_1)}{P(S_1)P(k_1/S_1)P(k_2/S_1)P(k_3/S_1)+P(S_2)P(k_1/S_2)P(k_2/S_2)P(k_3/S_2)}. \quad (14)$$

т. е. в выражениях числителя и слагаемых знаменателя появляется еще один сомножитель с признаком k_3.

Для *случая2*) – при не проявлении одного (первого) признака $(\bar{k}_1, k_2\ \theta\ k_3)$ в неисправном состоянии $(S_1) - P(S_1/k_1k_2k_3)$:

$$P(S_1/\bar{k}_1k_2k_3)=\frac{P(S_1)P(\bar{k}_1/S_1)P(k_2/S_1)P(k_3/S_1)}{P(S_1)P(\bar{k}_1/S_1)P(k_2/S_1)P(k_3/S_1)+P(S_2)P(\bar{k}_1/S_2)P(k_2/S_2)P(k_3/S_2)}. \quad (15)$$

Для *случая 2*) – при не проявлении другого (второго) признака – $P(S_1/k_1\bar{k}_2k_3)$:

$$P(S_1/k_1\bar{k}_2k_3)=\frac{P(S_1)P(k_1/S_1)P(\bar{k}_2/S_1)P(k_3/S_1)}{P(S_1)P(k_1/S_1)P(\bar{k}_2/S_1)P(k_3/S_1)+P(S_2)P(k_1/S_2)P(\bar{k}_2/S_2)P(k_3/S_2)}. \quad (16)$$

Для *случая 4*) – при не проявлении третьего признака – $P(S_1/k_1k_2\bar{k}_3)$:

$$P(S_1/k_1k_2\bar{k}_3)=\frac{P(S_1)P(k_1/S_1)P(k_2/S_1)P(\bar{k}_3/S_1)}{P(S_1)P(k_1/S_1)P(k_2/S_1)P(\bar{k}_3/S_1)+P(S_2)P(k_1/S_2)P(k_2/S_2)P(\bar{k}_3/S_2)}. \quad (17)$$

Далее, выполняя действия, аналогичные *случаю 1*), получим выражения для *случая 5*) – одновременного не проявления первого и второго признаков в S_1 – $P(S_1/\bar{k}_1\bar{k}_2k_3)$, для *случая 6*) – одновременного не проявления первого и третьего признаков в S_1 – $P(S_1/\bar{k}_1k_2\bar{k}_3)$, для *случая 7*) – одновременного не проявления второго и третьего признаков в S_1 $P(S_1/k_1\bar{k}_2\bar{k}_3)$, для *случая 8*) – одновременного не проявления трех признаков В $S_1 - P(S_2/\bar{k}_1\bar{k}_2\bar{k}_3)$.

Выполняя действия, аналогичные *вариации 1*), получим выражения для *вариации 2*) – для второго неисправного состояния (S_2):

для случая I а) – одновременное проявление трех признаков (k_1, k_2 и k_3) в неисправном состоянии S_2 – $P(S_2/k_1k_2k_3)$; для *случая 2*) – при не проявлении первого признака $(\bar{k}_1, k_2\ \theta\ k_3)$ в неисправном состоянии (S_2) – $P(S_2/\bar{k}_1k_2k_3)$: для *случая 3*) – при не проявлении второго признака – $P(S_2/k_1\bar{k}_2k_3)$: для **случая** 4) – при не проявлении третьего признака – $P(S_1/k_1k_2\bar{k}_3)$: для *случая 5*) – одновременного не проявления первого и второго признаков в $S_2 - P(S_2/\bar{k}_1\bar{k}_2k_3)$, для *случая 6*) – одновременного не проявления первого и третьего признаков в S_2 – $P(S_2/\bar{k}_1k_2\bar{k}_3)$, для *случая 7*) – одновременного не проявления второго и третьего признаков в S_2 – $P(S_2/k_1\bar{k}_2\bar{k}_3)$, для *случая 8*) – одновременного не проявления трех признаков в $S_2 - P(S_2/\bar{k}_1\bar{k}_2\bar{k}_3)$.

Проанализировав процесс получения расчетных выражений, делаем вывод и получаем следующие результаты.

Для того, чтобы использовать теорему гипотез, при определении неисправностей в случае одновременного проявления двух и более признаков, необходимо выполнить следующие действия:

– определить варианты расчета с учетом проявления двух более неисправных состояний;

– определить условия по неисправным состояниям – вариации; по проявляющимся признакам – случаи;

– вывести выражения, исходя из обобщенной формулы Байеса, по полученным вариантам;

– рассмотреть каждый вариант по сочетанию неисправных состояний;

– рассмотреть каждое сочетание неисправных состояний по каждому сочетанию проявившихся признаков.

Применение теоремы гипотез в варианте, где проявляется только один признак или при выявлении одного

Диагностическая матрица общего вида

Неθсправные состоянθя S_i	Вероятность проявленθя прθзнака k_j			$P(S_i)$
	ПО k_1	по k_2	по k_3	
	$P(k_1/S_i)$	$P(k_2/S_i)$	$P(k_3/S_i)$	
S_1	$P(k_1/S_1)$	$P(k_1/S_2)$	$P(k_3/S_1)$	$P(S_1)$
S_2	$P(k_1/S_2)$	$P(k_2/S_2)$	$P(k_3/S_2)$	$P(S_2)$
S_3	$P(k_1/S_3)$	$P(k_2/S_3)$	$P(k_3/S_3)$	$P(S_3)$

неисправного состояния при двух и более проявившихся признаках, не имеет смысла, так как он однозначно дает определенный результат, указывающий на одно единственное неисправное состояние. Это же может быть подтверждено простым логическим рассуждением или явно проявиться при функционировании объекта.

V. V. Lukasov, A. V. Katsura

RECOGNITION OF MALFUNCTION OF SYSTEMS AND UNITS OF AIR COURTS WITH BEIES PROBABILITY METHOD APPLICATION

The algorithm of definition of malfunctions of flying devices with application of probability method of recognition is resulted.

УДК 629.78.067

В. В. Иванов, И. А. Максимов, А. Б. Надирадзе, В. В. Шапошников

МЕХАНИЗМЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПЛАЗМЫ ЭЛЕКТРОРАКЕТНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА РАБОТУ БОРТОВОЙ АППАРАТУРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

Рассмотрены возможные механизмы воздействия низкотемпературной плазмы, формируемой при работе электроракетных двигателей, на бортовую аппаратуру космических аппаратов. Показано, что имеется, по крайней мере, три таких механизма: образование токов утечки, объемный разряд и поверхностный дуговой пробой. Отмечается, что только в первом и втором случаях параметры плазмы могут оказывать влияние на величину разрядных токов. В третьем случае плазма играет роль инициатора разряда и не оказывает заметного влияния на его характеристики. В объемном и поверхностном пробоях амплитуда тока может изменяться от десятков миллиампер до единиц ампер, что представляет реальную угрозу для бортовой аппаратуры.

Переход на негерметичное исполнение отсека полезной нагрузки (ОПН) и широкое использование электроракетных двигателей (ЭРД), в частности стационарных плазменных двигателей (СПД), на современных космических аппаратах (КА) привело к появлению дополнительных каналов взаимодействия между бортовой электронной аппаратурой (БА) и двигательной установкой. Одним из таких каналов является плазма, формируемая при работе ЭРД. Наличие плазмы в области высоковольтного оборудования (ВВО), например ламп бегущей волны (ЛБВ) или блоков питания (БП) бортового радиотрансляционного комплекса (БРТК), может стать причиной электрических разрядов или значительных токов утечки, способных привести к нарушению нормального функционирования аппаратуры и КА в целом.

Для исключения подобных эффектов и подтверждения стойкости БА к воздействию плазмы в настоящее время проводят испытания аппаратуры в условиях наиболее приближенных или более жестких, чем натурные. Такой подход гарантирует надежное функционирование БА в составе КА, однако не позволяет выяснить механизмы воздействия плазмы и выбрать наиболее эффективные методы защиты. В связи с этим целью данной статьи является определение возможных механизмов воздействия, а также построение критериев стойкости БА к воздействию плазмы ЭРД.

Условия функционирования БА на борту КА. С точки зрения возможности возникновения электрических разрядов наибольший интерес представляют величины давления газа и параметры плазмы внутри ОПН. Для большинства современных КА негерметичного исполнения устанавливается верхний предел давления внутри отсека полезной нагрузки, равный $p_m = 10^{-4}…10^{-5}$ торр. Включение бортовой аппаратуры производится только после того, как давление в ОПН станет меньше указанного значения. Для обеспечения требуемой скорости обезгаживания в стенках корпуса ОПН устанавливаются вентиляционные отверстия (ВО), через которые газ, выделяемый приборами и материалами, выходит наружу.

По данным источников [1; 2], установившееся значение давления во внутренних полостях КА не превышает $10^{-8}…10^{-9}$ торр, и может кратковременно увеличиваться до $10^{-6}…10^{-7}$ торр при включениях газовых двигателей и при повышенном тепловыделении электронной аппаратуры.

Параметры плазмы, проникающей в ОПН, определяются конструкцией и площадью ВО, взаимным расположением и типом используемых ЭРД. По оценкам [3], при использовании двигателей типа СПД-100, СПД-70 концентрация плазмы внутри ОПН составляет $10^4…10^6$ см$^{-3}$ при средней энергии ионов 10–30 эВ (соответствует потенциалу плазмы в периферийных зонах струи). Проникание высокоэнергетических ионов струи в ОПН маловероятно.

Анализ возможных механизмов воздействия. В настоящее время известно несколько физических явлений, которые потенциально могут приводить к сбоям в работе БА. Это образование паразитных токов утечки за счет проводимости плазмы, различные виды тлеющих дуговых разрядов [4], а также поверхностный электрический пробой [5; 6] и поверхностный дуговой пробой [7; 8]. Рассмотрим каждый из них и оценим опасность для функционирования БА.

Образование токов утечки. Поскольку плазма является проводящей средой, то через любой электрод, находящийся не под потенциалом плазмы, будет протекать ток, величина которого зависит от параметров плазмы, потенциала на электроде, состояния поверхности электрода и внешнего давления. Типичная зондовая характеристика представлена на рис. 1.

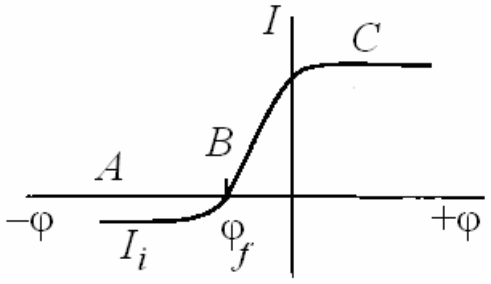


Рис. 1. Типичная вольт-амперная характеристика зонда

При указанных выше условиях плазма является бесстолкновительной, поэтому влиянием давления можно пренебречь.

Классическая теория электрического зонда в плазме [9] дает следующую зависимость тока на зонд.

Полный ток J, текущий на зонд, равен разности электронного J_e и ионного J_i токов:

$$J = J_e - J_i, \tag{1}$$

или

$$J = S(j_e - j_i), \tag{2}$$

где S – площадь поверхности зонда; j_e, j_i – плотность электронного и ионного тока.

В области отрицательных потенциалов зонда ток, текущий на зонд, определяется выражением

$$j_- = j_0 \exp\left(-\frac{e\varphi}{kT}\right), \tag{3}$$

где

$$j_0 = -en\left(\frac{kT}{2\pi m}\right)^{\frac{1}{2}}. \tag{4}$$

При постепенном уменьшении отрицательного потенциала зонда, т. е. удалении по оси абсцисс вправо из области A, происходит экспоненциальное увеличение электронного тока (участок B на рис. 1). На этом участке полный ток, текущий на зонд, обусловлен как электронами, так и ионами. При переходе в область положительных потенциалов (участок C зондовой характеристики) ионы перестают попадать на зонд. Здесь ток, текущий на ток, обусловлен только электронами. В случае цилиндрического зонда электронный ток в областях B, C равен:

$$j_+ = j_0\left[1+\frac{e\varphi}{kT}\right]. \tag{5}$$

Для зондов другой формы вид функции (5) может измениться вследствие отличия зависимости площади собирающей поверхности от потенциала зонда.

Согласно формулам (3)–(5), при указанных выше значениях концентрации и температуры плазмы, ионная компонента тока при напряжении 100 В – 1 кВ может достигать 1–100 мкА/см^2, а электронная – 0,1–10 мА/см^2. В некоторых случаях эти токи могут оказывать заметное влияние на работу БА, поэтому их следует учитывать при проектировании и оценке воздействия ЭРД на БА.

Объемный газовый разряд. Условия возникновения газового разряда в настоящее время достаточно хорошо изучены [4]. Электрический пробой вакуумного промежутка происходит в результате образования токового канала электронами вторичной эмиссии и ионизированными частицами газа. Условия зажигания газового разряда определяются законом Пашена.

Характерные кривые зависимости напряжения зажигания разряда V_t от произведения pd, где d – расстояние между электродами, приведены на рис. 2. В этом проявляется закон подобия.

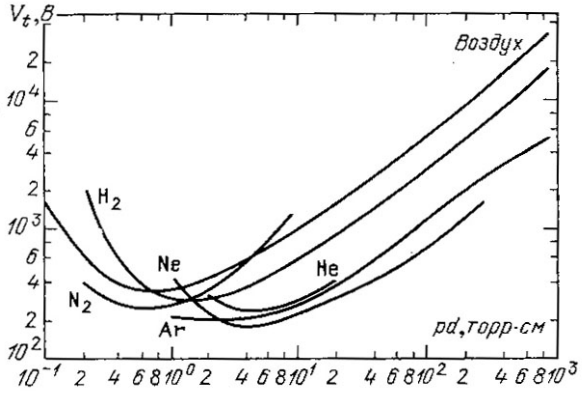


Рис. 2. Потенциал зажигания разряда в различных газах (кривые Пашена)

Значение V_t в минимуме соответствует точке Столетова, где ионизационная способность электрона максимальна. Промежуток пробивается при этом легче всего, потому что оптимальны условия для размножения.

В области больших pd (на правой ветви кривой Пашена) пороговая величина V_t возрастает почти пропорционально pd. Такое поведение напряжения пробоя объясняется тем, что в случае повышенных давлений или длинных промежутков электрон имеет возможность совершить много ионизирующих столкновений на длине пробега.

При малых pd (левая ветвь кривой Пашена) возможностей для столкновений мало. Для достижения должного умножения требуется очень сильное поле, поэтому с уменьшением pd напряжение пробоя быстро растет. В силу ограниченности эффективного сечения ионизации, ионизационный коэффициент также ограничен. Поэтому при малых pd ни при какой напряженности поля не может быть обеспечено нужное усиление и, следовательно, зажигание разряда.

Условия зажигания самостоятельного разряда указывают на то, что появление плазмы ЭРД не должно приводить к заметному снижению потенциала зажигания самостоятельного разряда. В худшем случае будет происходить некоторое увеличение темнового тока насыщения. Небольшое снижение потенциала зажигания может происходить по причине изменения величины прикатодного падения потенциала за счет увеличения концентрации носителей зарядов. Но в обоих случаях вероятность

возникновения объемного разряда при давлении ниже $10^{-5}…10^{-4}$ торр, реализуемых в ОПН, относительно невелика. Поэтому данный эффект вряд ли может служить объяснением сбоев в работе БА.

Объемный тепловой пробой. Как отмечалось выше, при давлении ниже $10^{-5}…10^{-4}$ торр самостоятельный газовый разряд невозможен. Однако при увеличении положительного потенциала электрода до 0,5–1 кВ и достаточно больших токах утечки давление газа может увеличиться за счет нагрева электродов и частичного испарения поверхностных пленок загрязнения и примыкающих к электроду диэлектриков. Возможность таких эффектов, по-видимому, определяется особенностями конструкции БА и применяемыми в ней материалами. Если принять тепловую модель разряда, то напряжение зажигания U_t равно

$$U_t \sim \frac{W_t}{j_+}, \qquad (6)$$

где W_t – теплота испарения поверхностной пленки или прилегающих материалов.

Максимальная плотность тока в разряде определяется площадью электродов, используемыми материалами и внутренним сопротивлением источника тока. Значительного влияния давления на характеристики разряда не ожидается, поскольку участие остаточного газа в этом процессе незначительно.

Большие токи разряда и возможность разрушения материалов представляет реальную угрозу для БА, поэтому данный эффект необходимо учитывать при проектировании.

Поверхностный электрический пробой. В отличие от тлеющего разряда поверхностный пробой может возникать при сколь угодно низких давлениях газа. Материалом для создания проводящей среды в этом случае являются атомы и молекулы газа, адсорбированные на поверхности диэлектрика. Когда напряжение между электродами превышает напряжение пробоя, адсорбированный слой разрушается под действием электронов разряда. В приповерхностном слое возникает достаточно плотное облако газа, которое ионизируется и участвует в развитии пробоя. Поскольку масса запасенных частиц невелика (обычно 2–3 монослоя), поверхностный пробой всегда имеет импульсный характер. Повторный пробой может произойти только после того, как на поверхности будет накоплена достаточно большая масса частиц.

Исследованию этого явления была посвящена большая серия работ [5; 6]. В них показано, что основная характеристика пробоя зависит от материала, формы и размера изолятора, качества контакта металл–диэлектрик, наличия магнитного поля, длительности импульса приложенного напряжения.

По данным [6], поверхностный разряд возникает при напряжении между электродами от 20–30 кВ и выше. Разряд имеет импульсный характер. Длительность импульса составляет 1–10 мкс. Амплитуда тока в импульсе имеет порядок 1 А. Разрушения электродов при разряде обычно не происходит.

Присутствие плазмы в разрядном промежутке, по-видимому, может увеличить интенсивность десорбционных процессов за счет накопления на поверхности электрического заряда и протекания тока между электродами. В связи с этим можно ожидать некоторого снижения напряжения пробоя.

Оценить опасность данного типа пробоя для работы БА в настоящее время не представляется возможным. Однако, учитывая характер пробоя и особенности конструкции БА, возникновение поверхностных электрических пробоев представляется маловероятным.

Поверхностный дуговой пробой. Эффекты дугового плазменного разряда были обнаружены при испытаниях и эксплуатации высоковольтных солнечных батарей на низких околоземных орбитах. Было установлено, что в панелях, смещаемых отрицательно относительно потенциала плазмы, при пороговых напряжениях, зависящих от плотности плазмы, происходит дугообразование. Исследования [9] показали, что дуговые характеристики зависят от напряжения, при котором возникает дуга, и от емкости между панелью батареи и окружающими элементами конструкции.

В работе [8] построена теория, объясняющая экспериментально наблюдаемые свойства электрического пробоя солнечных панелей в плазме. Эта теория основана на предположении о том, что любая контактирующая с плазмой металлическая поверхность покрыта тонким слоем изолирующих загрязнений. Ионы окружающей плазмы притягиваются панелью, находящейся под отрицательным потенциалом, и нейтрализуются на поверхности этого слоя, приводя к росту в нем напряженности электрического поля. В ходе этого процесса внутреннее поле становится достаточно большим, чтобы вызвать эмиссию на границе металла с изолирующим слоем. Такая эмиссия в свою очередь вызывает ионизацию и нагрев электронов внутри слоя. Горячие электроны могут испускаться в вакуум, в результате чего замыкается петля положительной обратной связи, приводящая к образованию дугового пробоя. На основании этих предположений в источнике [8] разработано математическое описание процессов, которое позволяет предсказать пороговое напряжение дугообразования, существование такого порога и вытекающая из разработанной теории его слабая зависимость от плотности плазмы, что согласуется с имеющимися экспериментальными данными.

В работах [8; 9] указываются следующие закономерности этого явления:

– потенциально возможно возникновение высоковольтных дуговых разрядов при наличии плазмы с концентрацией от 10^1–10^4 1/см^3;

– образование дуги наблюдается при напряжениях 100–700 В, при этом ток через разрядный промежуток экспоненциально возрастает;

– плазма не является основным проводящим элементом, по которому развивается дуга, а только инициирует разрядный процесс;

– значительной зависимости дуговых характеристик от концентрации плазмы не обнаружено – увеличение концентрации может приводить к некоторому увеличению частоты дуги, но эти данные не являются окончательными;

– ток дуги определяется эмиссией испаренного материала, поэтому он может достигать довольно больших значений;

– сильного влияния давления окружающей среды на процессы дугообразования не обнаружено;

– большое значение на образование дуги может оказывать масштабный фактор.

Таким образом, имеется, по крайней мере, три возможных механизма воздействия низкотемпературной плазмы на работу ВВО: образование токов утечки; объемный тепловой пробой; поверхностный дуговой пробой.

В настоящее время не представляется возможным дать четкие рекомендации разработчикам бортовой аппаратуры по исключению возможности этих эффектов. Также весьма проблематично получить надежные оценки критических параметров плазмы, поскольку это требует учета особенностей конструкции приборов.

Построение критериев стойкости БА к воздействию плазмы. Как отмечалось в работе [10], в настоящее время в качестве критерия стойкости БА к воздействию плазмы принято следующее условие:

$$n_{\text{БА}} \le n_{\text{ПРЕД}}, \qquad (7)$$

где $n_{\text{ПРЕД}}$ – предельная концентрация плазмы, при которой гарантируется безотказная работа аппаратуры, а $n_{\text{БА}}$ – концентрация плазмы в области установки БА, реализуемая в условиях натурной эксплуатации КА.

Концентрация плазмы $n_{\text{БА}}$ оценивается расчетно-экспериментальными методами путем последовательного учета ослабления плазменных потоков при движении частиц от источника плазмы до места установки аппаратуры. Методика этой процедуры была подробно рассмотрена в работе [3] и в настоящее время достаточно хорошо отработана.

Наиболее сложным является определение $n_{\text{ПРЕД}}$. Есть два способа оценки этой величины: проведение испытаний БА; оценка по критичным элементам БА.

В первом случае величина $n_{\text{ПРЕД}}$ определяется путем постепенного увеличения концентрации плазмы с нуля до максимально возможных значений $n_{\text{МАКС}}$, которые могут быть реализованы в натурных условиях эксплуатации ($n_{\text{МАКС}} \approx 5 \cdot 10^8$ см$^{-3}$ [3; 10]). Если при некоторой концентрации плазмы n_i^* будут обнаружены сбои в работе аппаратуры, принимается условие $n_{\text{ПРЕД}} = n_i^*$. Если же сбоев в работе аппаратуры не обнаруживается ни при каких значениях концентрации, принимается условие $n_{\text{ПРЕД}} \ge n_{\text{МАКС}}$.

Однако при использовании такого подхода необходимо провести испытания всей аппаратуры, функционирующей на КА, что является слишком сложным и неэффективным. Поэтому более привлекателен второй способ анализа, позволяющий произвести предварительный отбор аппаратуры по наличию в ней критичных элементов.

Но и здесь возникают проблемы. Учитывая индивидуальность конструктивного исполнения приборов, сложность процессов формирования пробоев и большое влияние на эти процессы малых факторов вряд ли можно получить достоверную оценку величины $n_{\text{ПРЕД}}$ для отдельного элемента БА.

В связи с этим наиболее эффективным и доступным для практического применения (с учетом ограниченных временных и материальных ресурсов) представляется подход, основанный на ранжировании БА по степени опасности воздействия на нее плазмы ЭРД. При этом методика анализа может быть построена следующим образом:

1) на основании существующих теоретических представлений и результатов экспериментов формируется множество модельных схем, позволяющих получить оценку критических параметров пробоя или величину токов утечки;

2) проводится анализ технической документации на БА, выявляются элементы, соответствующие выбранным модельным схемам, оценивается критичность аппаратуры к воздействию плазмы;

3) проводятся испытания аппаратуры, содержащие наибольшее число критичных элементов. Для остальной аппаратуры, не прошедшей такие испытания, могут быть проведены экспертные оценки стойкости к воздействию плазмы.

При использовании такой схемы критерии отбора элементов БА должны строятся по методу исключения, т. е. они должны гарантированно выявлять элементы не критичные к воздействию плазмы. Элементы, не соответствующие такому критерию, потенциально опасны, хотя не обязательно подвержены воздействию плазмы. Стойкость таких устройств должна подтверждаться экспериментально.

Проведенный анализ показывает, что низкотемпературная плазма, формируемая при работе электроракетных двигателей, представляет собой реальную угрозу для бортовой аппаратуры космических аппаратов.

Токи утечки возникают в результате проводимости плазмы. При положительном потенциале электродов плотность тока утечки может достигать 1–5 мА/см^2 (концентрация плазмы – 10^6 см$^{-3}$, средняя энергия ионов – 20 эВ, потенциал электрода 1кВ), а при отрицательном – 1–10 мкА/см^2.

Объемный тепловой пробой возникает при положительном потенциале анода. При возникновении разряда происходит разрушение материала анода и примыкающих к нему изоляционных материалов. Напряжение пробоя зависит от размеров и формы электродов, свойств примыкающих материалов и концентрации плазмы.

Поверхностный дуговой пробой возникает при отрицательном потенциале изолированного электрода. Эмиссия электронов появляется в результате накопления заряда на поверхности диэлектрика и возникновения в нем большой напряженности поля. По имеющимся данным для возникновения дуги достаточно очень небольшой концентрации плазмы (10^1–10^4 1/см^3). При этом напряжение зажигания дуги составляет 100–700 В. Влияние давления и величины концентрации плазмы на характеристики дуги незначительно. Поскольку в образовании дуги участвует материал изолятора, разрядные токи могут достигать очень больших значений (до нескольких ампер).

В настоящее время не представляется возможным дать четкие рекомендации разработчикам бортовой аппаратуры по исключению возможности этих эффектов. Также весьма проблематично получить оценки критических параметров плазмы, поскольку это требует учета особенностей конструкции приборов.

Поэтому для подтверждения стойкости БА к воздействию плазмы на данном этапе исследований предлагается проводить ранжирование и выборочные испытания БА по степени критичности к воздействию плазмы. Кри-

терии отбора элементов БА должны строиться по методу исключения, т. е. они должны гарантированно выявлять элементы не критичные к воздействию плазмы.

Библиографический список

1. Крылов, А. Н. Динамика изменения давления в негерметичных отсеках спутников на геостационарных орбитах / А. Н. Крылов [и др.] // Авиакосмическое приборостроение. № 3, 2006. С. 55–58.

2. Надирадзе, А. Б. Оценка времени обезгаживания негерметичного приборного отсека космического аппарата / А. Б. Надирадзе [и др.] // Вестник Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та : сб. науч. тр. / под ред. проф. Г. П. Белякова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2007. Вып. 1. С. 95–98.

3. Иванов, В. В. Расчетная модель для оценки проникания плазмы ЭРД в приборные отсеки КА / В. В. Иванов [и др.] // Вестник Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та : сб. науч. тр. / под ред. проф. Г. П. Белякова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2006. Вып. 3 (10). С 49–52.

4. Грановский, В. Л. Электрический ток в газе. Установившийся ток / В. Л. Грановский. М. : Наука. 1971.

5. Авдиенко, А. А. Поверхностный пробой твердых диэлектриков в вакууме. Механизм поверхностного пробоя / А. А. Авдиенко, М. Д. Малеев // ЖТФ. Т. 47. Вып. 8. 1977. С. 1703–1711.

6. Авдиенко, А. А. Поверхностный пробой твердых диэлектриков в вакууме. Количественная модель пробоя / А. А. Авдиенко, М. Д. Малеев // ЖТФ. Т. 47. Вып. 8. 1977. С. 987–998.

7. Паркс, Д. Э. Механизмы, определяющие порог пробоя высоковольтных солнечных панелей /Д. Э. Паркс [и др.] // Аэрокосмическая техника. 1988. № 5. Май. С. 96–102.

8. Snyder, D. B. The effect of plasma on solar cell array characteristics / D. B. Snyder, E. Tyree // AIAA. Paper 85–0384, 1985.

9. Козлов, О. В. Электрический зонд в плазме / О. В. Козлов. М. : Атомиздат, 1969.

10. Иванов, В. В. Методология обеспечения стойкости космического аппарата в условиях плазмы, формируемой стационарными плазменными двигателями / В. В. Иванов [и др.] // Вестник Сиб. гос. аэрокосмич. ун-та : сб. науч. тр. / под ред. проф. Г. П. Белякова ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2006. Вып. 1. С. 76–80.

V. V. Ivanov, I. A. Maksimov, A. B. Nadiradze, V. V. Shaposhnikov

MECHANISMS OF THE ELECTRO-JET THRUSTER IMPACTS ON THE OPERATION OF THE SPACECRAFT ON BOARD EQUIPMENT

It is considered the possible mechanisms of the impacts of the low-temperature plasma generated by electro-jet thrusters on the spacecraft on board equipment. It is shown that there are at least three mechanisms of such nature including the generation of the leak currents, the volumetric discharge and the surface arcing. It is noted that with the first and the second mechanisms only, the plasma parameters can effect the values of the discharge currents. With the third mechanism, the plasma acts as a discharge initiator and does not significantly effect the discharge characteristics. For the volumetric breakdown and surface arcing, the current amplitude can vary from tens of mAmps to units of Amps thus actually jeopardizing the operation of the on board equipment.

УДК 621.311.6

Ю. В. Краснобаев, И. Н. Пожаркова

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПУСТИМЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВЫХОДНОГО ИМПЕДАНСА АВТОНОМНОЙ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

Описана методика определения допустимых значений выходного импеданса автономной системы электропитания на ранних этапах проектирования в условиях ограниченной информации о каналах электропотребления. Проведено исследование зависимостей входного импеданса канала электропотребления с вторичным источником питания от его параметров с использованием моделей каналов в формате PSpice. Предложен способ ослабления требований к выходному импедансу системы электропитания.

Автономные системы электроснабжения (АСЭС) с импульсными стабилизаторами существуют в составе различных автономных объектов (АО), например в космических аппаратах, автоматических станциях мониторинга окружающей среды, системах телеуправления. АСЭС состоят из подсистем электропитания (СЭП) и электропотребления. В состав современных СЭП входит источник энергии (ИЭ), накопитель энергии (НЭ) и энергопреобразующая аппаратура (ЭПА), обеспечивающая передачу энергии от ИЭ и НЭ на выход СЭП, восстановление энергии НЭ и требуемое качество напряжения на выходе СЭП. В качестве ИЭ находят применение солнечные батареи, термоэлектрические преобразователи, маломощные ветро- и гидроэнергоустановки с вентильны-

ми генераторами. В качестве НЭ, как правило, применяются химические источники тока – аккумуляторные батареи. Поскольку энергия вырабатывается и хранится в виде энергии постоянного тока, то, как правило, и на выход СЭП энергия передается в виде энергии постоянного тока. Передача энергии от ИЭ и НЭ на выход СЭП и стабилизация напряжения на выходе обеспечивается импульсными стабилизаторами напряжения (ИСН). Подсистема электропотребления образована группой каналов электропотребления (КЭП), часть из которых содержит вторичные источники питания (ВИП), обеспечивающие изменение уровня и стабилизацию напряжения на входе конечного потребителя.

Современные требования к выходному импедансу СЭП значительно выше требований, обеспечиваемых в СЭП, созданных в 1970–1980-х гг. Необходимость в снижении величины модуля выходного импеданса СЭП $|Z_{\text{СЭП}}(j\omega)|$ обусловлена как увеличением суммарной мощности КЭП, так и доли КЭП с ВИП. Наличие у ВИП отрицательного входного сопротивления создает предпосылки для потери устойчивости АСЭС [1]. Явления автоколебаний выходного напряжения СЭП, созданных в 1970–1980-х гг., выявлялись как на стадии испытаний, так и на стадии опытной эксплуатации АО. Устранение автоколебаний выходного напряжения СЭП осуществлялось путем доработки энергопреобразующей аппаратуры, направленной на снижение выходного импеданса СЭП, а также за счет умощнения фильтров на входе КЭП. Все это приводило к увеличению сроков и затрат на проектирование АО и их массы.

Требования, предъявляемые в настоящее время к срокам и стоимости проектирования, исключают этап доработки энергопреобразующей аппаратуры, для чего необходимо точное определение допустимых значений выходного импеданса СЭП уже на раннем этапе проектирования АО. Однако на сегодняшний день не существует научно-обоснованных норм и требований к уровню $|Z_{\text{СЭП}}(j\omega)|$, вследствие чего, требования для ряда систем являются беспочвенно завышенными, что увеличивает трудозатраты при проектировании соответствующей системы, для других – занижены, последствием чего может стать выход системы из строя на этапе отработки или в процессе эксплуатации.

Динамическую модель АСЭС можно представить в виде схемы (рис. 1) [2], состоящей из СЭП с выходным операторным импедансом по переменной составляющей $Z_{\text{СЭП}}(p)$ и КЭП с входным операторным импедансом по переменной составляющей $Z_{\text{КЭП}}(p)$; $I(p)$ – стационарная составляющая токопотребления, $\Delta I(p)$ – переменная составляющая токопотребления, $U_{\text{ВЫХ}}(p)$ – выходное напряжение СЭП.

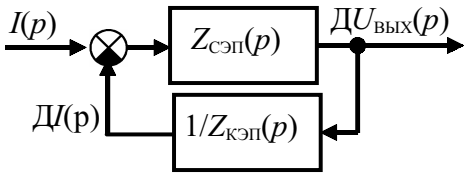


Рис. 1. Динамическая модель АСЭС

В соответствии со схемой оценка устойчивости АСЭС может производиться на основе данных о частотных характеристиках (ЧХ) импедансов СЭП и КЭП. Допустимые значения выходного импеданса СЭП можно определить из условия обеспечения требуемых запасов устойчивости по амплитуде и фазе, зная входной импеданс системы КЭП. Для построения ЧХ входного импеданса КЭП необходимо получить его передаточную функцию $Z_{\text{КЭП}}(j\omega)$, что зачастую невозможно сделать на раннем этапе проектирования СЭП, в связи с отсутствием полной информации о КЭП, так как сам канал находится в стадии разработки.

Как правило, проектирование и изготовление СЭП и КЭП происходят раздельно на различных предприятиях, и согласование СЭП с каналами электропотребления производится лишь на этапе экспериментальной отработки АО, когда спроектированы все ее элементы. При этом нередко приходится дорабатывать энергопреобразующую аппаратуру СЭП не только на стадии испытаний изделия, но и по результатам опытной эксплуатации, что требует больших затрат ма-териальных и людских ресурсов и увеличивает сроки разработки АО в целом.

Таким образом, актуальной является проблема создания методики определения допустимых значений выходного импеданса СЭП из условий устойчивости АСЭС при ограниченной информации о каналах электропотребления, применение которой позволит значительно сократить или совсем исключить этап доработки энергопреобразующей аппаратуры СЭП после стадии испытаний АО, ускоряя тем самым ввод изделия в эксплуатацию и сокращая затраты на проектирование.

Система каналов электропотребления (рис. 2) представляет собой совокупность отдельных КЭП, соединенных с выходными шинами СЭП посредством кабельной сети (КС). В качестве потребителя КЭП могут быть активная нагрузка, вторичный источник питания (ВИП) или электромеханический преобразователь (ЭМП).

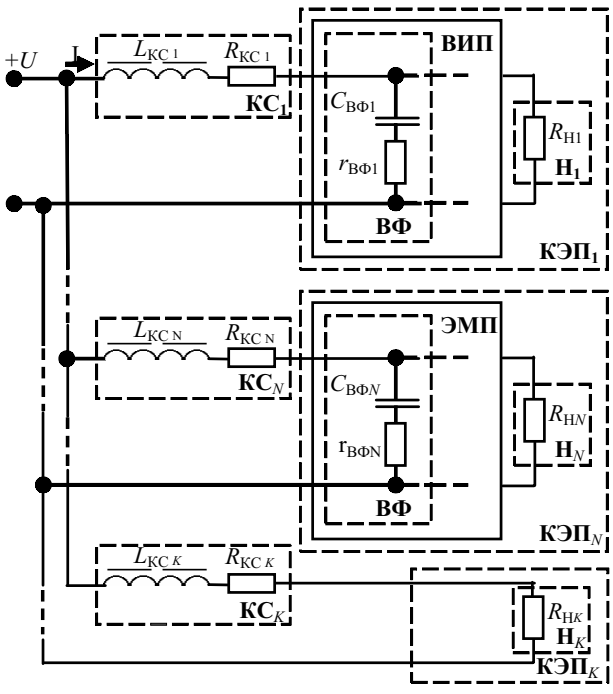


Рис. 2. Система каналов электропотребления

В настоящее время большинство КЭП (более 80 % потребляемой мощности) составляют КЭП с ВИП [1]. Входной импеданс отдельного КЭП с ВИП с учетом его КС определяется следующим образом:

$$Z_{\text{КЭП}}(j\omega) = Z_{\text{КС}}(j\omega) + \frac{Z_{\text{ВФ}}(j\omega)Z_{\text{ВИП}}(j\omega)}{Z_{\text{ВФ}}(j\omega) + Z_{\text{ВИП}}(j\omega)}, \quad (1)$$

где $Z_{\text{КС}}(j\omega)$ – частотная передаточная функция кабельной сети, $Z_{\text{ВФ}}(j\omega)$ – частотная передаточная функция входного фильтра ВИП, $Z_{\text{ВИП}}(j\omega)$ – частотная передаточная функция собственно ВИП (без ВФ) с учетом его нагрузки.

Получение передаточных функций КС и ВФ не вызывает затруднений, так как их параметры могут быть определены на раннем этапе проектирования СЭП в соответствии с заданными топологией КЭП и мощностью нагрузки. Передаточная функция ВИП определяется его структурой и параметрами, полная информация о которых недоступна на ранних этапах проектирования СЭП.

Для определения зависимостей входного импеданса КЭП от его параметров проведены экспериментальные исследования с использованием моделей КЭП в формате PSpice. Для исследований использовались модели КЭП с двумя вариантами схемы управления ВИП: с законом управления, обеспечивающим минимальную длительность (МД) переходных процессов [3], и с инерционно-форсирующим корректирующим устройством (ИФКУ) в цепи обратной связи, параметры которого определены по методике, предложенной В. И. Иванчурой, А. В. Казанцевым, Б. П. Соустиным [4]. При возмущающих воздействиях по входу и выходу ИФКУ обеспечивает длительность переходных процессов 15...20 периодов преобразования, что при применяемых частотах преобразования $f_{\text{пр}}$ составляет 1...2 мс, а корректирующее устройство, реализующее закон управления с МД переходных процессов, обеспечивает длительность переходного процесса 2...3 периода преобразования или 0,1...0,3 мс. В моделях в качестве силовых цепей ВИП выбраны конверторы понижающего (ПН) и повышающего (ПВ) типов. Используются два варианта КЭП равной мощности: канал энергопотребления с ВИП на входе и канал энергопотребления с активной нагрузкой.

Частотные характеристики входного импеданса КЭП получены при вариации мощности нагрузки $P_{\text{н}}$, индуктивности кабельной сети $L_{\text{КС}}$, емкости входного фильтра ВИП $C_{\text{ВФ}}$, активных сопротивлений КС $r_{\text{КС}}$ и ВФ $r_{\text{ВФ}}$, используемого в ВИП закона управления (ИФКУ, МД), частоты преобразования $f_{\text{пр}}$, типа конвертора ВИП (ПН, ПВ), типа потребителя КЭП (активная нагрузка, ВИП). Вариация параметров КЭП и КС производилась относительно базовых. За базовые параметры приняты: $P_{\text{н}}$ = 333 Вт, $L_{\text{КС}}$ = 2 мкГн, $C_{\text{ВФ}}$ = 50 мкФ, $r_{\text{КС}}$ = 0,12 Ом, $r_{\text{ВФ}}$ = 0,01 Ом, $f_{\text{пр}}$ = 40 кГц, конвертор ПН, закон управления ВИП – МД, тип потребителя – ВИП.

Амплитудные (АЧХ) и фазовые (ФЧХ) частотные характеристики входного импеданса КЭП, полученные экспериментально, приведены на рис. 3. Из их анализа следует, что частота преобразования, закон управления ВИП, тип силовой цепи не влияют на ЧХ КЭП, т. е. частотные свойства КЭП не зависят от параметров ВИП и его динамических характеристик.

Низкочастотный участок (НЧ) АЧХ входного импеданса КЭП $|Z_{\text{КЭП}}(j\omega)|$ определяется только мощностью нагрузки. Фазовая частотная характеристика $\varphi_{\text{КЭП}}(\omega)$ на НЧ близка к нулю при использовании в качестве потребителя КЭП активной нагрузки и имеет неминимально-фазовый сдвиг между входным током $I(j\omega)$ и питающим напряжением $U(j\omega)$ при ВИП-нагрузке. То есть входной импеданс КЭП на НЧ зависит от мощности нагрузки ВИП и наличия (отсутствия) ВИП и не зависит от других параметров КЭП и КС. Это позволяет в выражении (1) передаточную функцию ВИП $Z_{\text{ВИП}}(j\omega)$ представить эквивалентным отрицательным сопротивлением $-\frac{R_{\text{н}}}{K_{\text{п}}^{\,2}}$ ($K_{\text{п}}$ – коэффициент передачи ВИП по напряжению). В результате получим звено, дающее соответствующую величину модуля входного импеданса КЭП и свойственный ВИП неминимально-фазовый сдвиг на НЧ.

На участке средних частот (СЧ) АЧХ и ФЧХ обусловливаются емкостью входного фильтра $C_{\text{ВФ}}$. На высокочастотном участке (ВЧ) ЧХ зависят только от параметров ВФ и КС. Минимум $|Z_{\text{КЭП}}(j\omega)|$ находится на резонансной частоте входной цепи, образованной кабельной сетью и емкостным входным фильтром:

$$f_{\text{рез}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_{\text{КС}}C_{\text{ВФ}}}}. \quad (2)$$

Амплитуда $|Z_{\text{КЭП}}(j\omega)|_{\min}$ определяется активными сопротивлениями кабельной сети и входного фильтра ($r_{\text{КС}}$, $r_{\text{ВФ}}$). В области средних и высоких частот сопротивление ВИП значительно превышает сопротивления КС и ВФ, следовательно, импедансом $Z_{\text{ВИП}}(j\omega)$ можно пренебречь либо оставить равным $Z_{\text{ВИП}}(j\omega) = -\frac{R_{\text{н}}}{K_{\text{п}}^{\,2}}$, где $\frac{R_{\text{н}}}{K_{\text{п}}^{\,2}} >> |Z_{\text{ВФ}}(j\omega)|$. Выражение (1) примет вид

$$Z_{\text{КЭП}}(j\omega) = Z_{\text{КС}}(j\omega) + \frac{Z_{\text{ВФ}}(j\omega)\left(-\frac{R_{\text{н}}}{K_{\text{п}}^{\,2}}\right)}{Z_{\text{ВФ}}(j\omega) + \left(-\frac{R_{\text{н}}}{K_{\text{п}}^{\,2}}\right)}, \quad (3)$$

где $Z_{\text{КЭП}}(j\omega)$ – входной импеданс отдельного КЭП.

Результирующий входной импеданс системы КЭП $Z_{\text{КЭП.э}}(j\omega)$ определяется в соответствии ее топологией. Для системы из N параллельно включенных КЭП эквивалентный входной импеданс определяется выражением

$$Z_{\text{КЭП.э}}(j\omega) = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N}\frac{1}{Z_{\text{КЭП}.i}(j\omega)}}. \quad (4)$$

Таким образом, передаточную функцию входного импеданса отдельного КЭП можно получить на основании информации только о мощности нагрузки, параметрах кабельной сети и входного фильтра, типа нагрузки (активная нагрузка, ВИП). Определив результирующий входной импеданс системы КЭП $Z_{\text{КЭП.э}}(j\omega)$ по выражению (4), можно формировать требования к ЧХ выходного импеданса СЭП.

Граница области устойчивой работы АСЭС определяется системой уравнений [2]:

$$\begin{cases} |Z_{\text{СЭП}}(j\omega)| = |Z_{\text{КЭП.э}}(j\omega)| \\ \varphi_{\text{СЭП}}(\omega) = \varphi_{\text{КЭП.э}}(\omega) \pm \pi \end{cases}. \quad (5)$$

Для устойчивой работы СЭП на группу КЭП необходимо, чтобы на всем частотном диапазоне его выходной импеданс как комплексная величина не был равен суммарному входному импедансу приемников, фазовая характеристика которых сдвинута на значение ±p. Иными словами, для устойчивой работы СЭП на группу КЭП необходимо, чтобы во всем диапазоне частот не выполнялись одновременно (на одних и тех же частотах) оба условия (5). По уравнениям (5) можно непосредственно назначить требования к амплитудной и фазовой частотным характеристикам СЭП исходя из условий устойчивости АСЭС. Для назначения требований к $Z_{\text{СЭП}}(j\omega)$, выполнение которых обеспечит работу АСЭС с требуемыми запасами устойчивости по амплитуде ΔL=20lγâ и фазе $\Delta\varphi$, используются уравнения

$$\begin{cases} |Z_{\text{СЭП}}(j\omega)| = |Z_{\text{КЭП.э}}(j\omega)| \cdot \beta \\ \varphi_{\text{СЭП}}(\omega) = \varphi_{\text{КЭП.э}}(\omega) \pm \pi \pm \Delta\varphi \end{cases}. \quad (6)$$

Назначение требований к выходному импедансу СЭП по выражениям (5) и (6) производятся исходя из предположения, что СЭП работает на группу КЭП. Однако на практике происходят постоянные коммутации каналов электропотребления, вследствие чего изменяется результирующий входной импеданс КЭП, а, следовательно, и условия устойчивости (5), (6). Хотя в общем случае уменьшение $Z_{\text{КЭП.э}}(j\omega)$ и ведет к ухудшению условий устойчивости, однако это не означает, что случай с максимальным числом одновременно работающих приемников является наиболее критичным по устойчивости. Может оказаться, что при некотором промежуточном числе одновременно включенных приемников условия устойчиво-

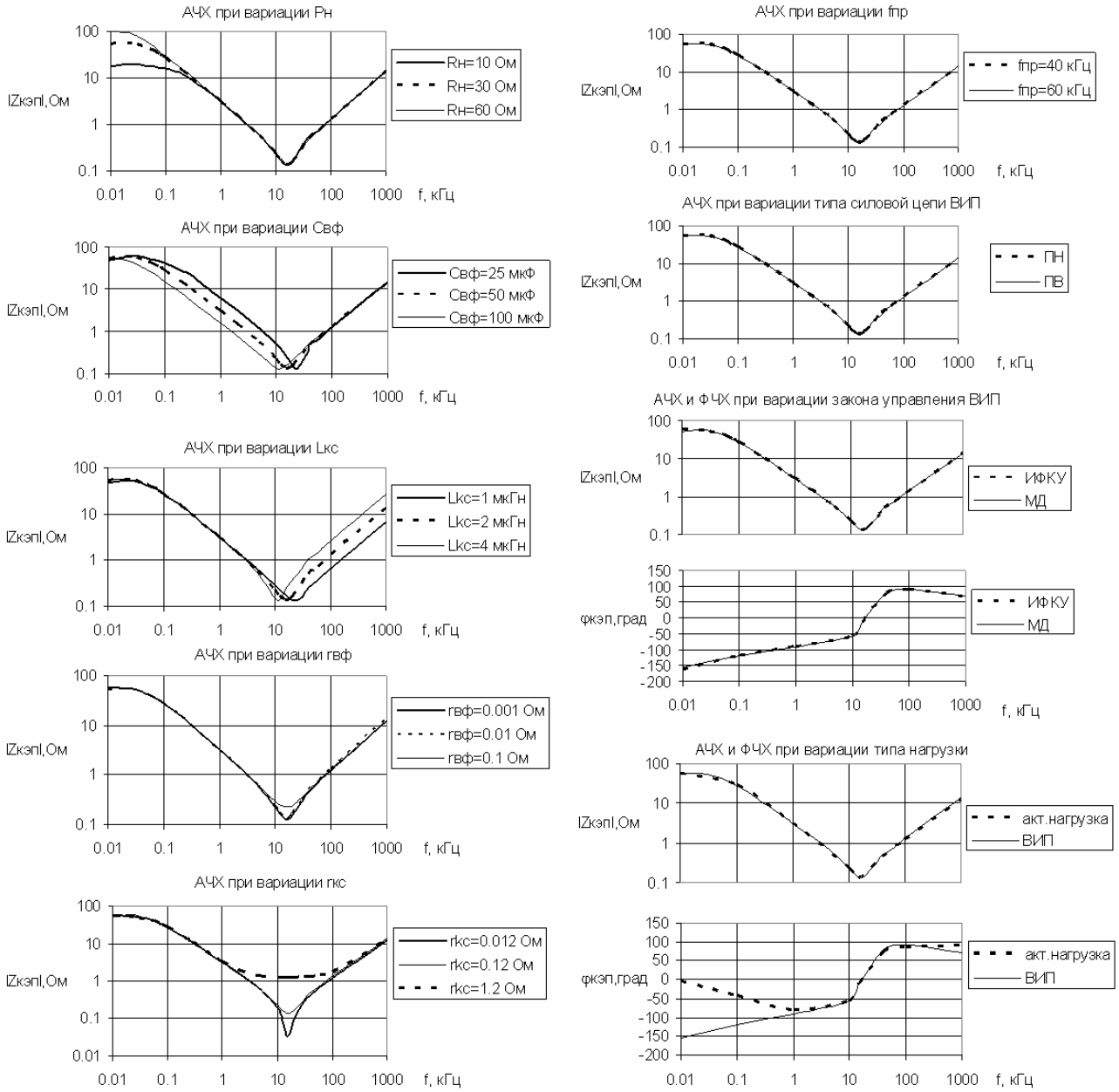


Рис. 3. Амплитудные и фазовые частотные характеристики входного импеданса КЭП

сти ухудшаются. Следовательно, назначение требований к ЧХ выходного импеданса СЭП должно производиться с учетом режимов работы его со всеми возможными (или, по крайней мере, главными) промежуточными группами КЭП, для чего необходимо провести анализ возможных функциональных состояний потребителей энергии.

В том случае, если требования к значению $|Z_{СЭП}(j\omega)|$, сформулированные согласно системе уравнений (5) или (6) существенно превышают уровень, обеспечиваемый в настоящее время, то с целью их ослабления могут быть применены меры по повышению модуля входного импеданса КЭП, разработанные на основании полученных зависимостей уровня $|Z_{КЭП}(j\omega)|$ на НЧ, СЧ и ВЧ от соответствующих параметров канала (рис. 3). Очевидно, что наиболее жесткие требования к $|Z_{СЭП}(j\omega)|$ предъявляются в окрестности резонансной частоты входной цепи КЭП $f_{рез}$, где $|Z_{КЭП}(j\omega)|$ минимален.

В состав АСЭС зачастую входят соединенные параллельно однотипные КЭП. Например, у современных спутников связи число КЭП-ретрансляторов может доходить до 100 и более. В случае одинаковых параметров входной цепи эти каналы будут иметь одинаковую резонансную частоту (рис. 4). При равных или близких друг другу резонансных частотах каналов минимальное значение результирующего входного импеданса $|Z_{КЭП.Э}(j\omega)|_{min}$ будет ниже (рис.4, *а*), чем у каналов с разной $f_{рез}$ (рис.4, *б*).

Повысить эквивалентное сопротивление системы однотипных КЭП можно разнесением резонансных частот отдельных подсистем КЭП-КС. Согласно выражению (2), резонансная частота зависит от емкости входного фильтра ВИП и индуктивности кабельной сети, и изменить ее можно, задавая различные $C_{ВФ}$ и $L_{КС}$. КЭП является изделием, поставляемым для АСЭС. Поскольку входной фильтр является составным элементом ВИП, и его параметры устанавливаются производителем, то величина емкости входного фильтра $C_{ВФ}$ не может быть скорректирована разработчиками СЭП и АО. Следовательно, для повышения уровня модуля входного импеданса совокупности КЭП необходимо варьировать индуктивность кабельных сетей отдельных каналов, $f_{рез}$ которых равны или близки. Реализовать это можно введением дополнительной индуктивности в кабельную сеть канала. Однако в этом случае увеличивается масса КЭП и всей АСЭС в целом.

В общем случае индуктивность линии в существенном для КЭП диапазоне частот определяется следующим выражением [5]:

$$L = \frac{\mu_0 l}{\pi}\left(\ln\frac{d}{r} + \frac{1}{4}\right), \qquad (7)$$

где l – длина провода; d – расстояние между осями проводов; r – радиус провода; $\breve{e}_0$ – магнитная постоянная.

Если отдельные КЭП удалены от СЭП на разные расстояния, то изменение индуктивности КС решается естественным образом за счет использования кабельных сетей различной длины l.

При компактном расположении КЭП изменение $L_{КС}$ возможно путем использования питающей сети с разнесенными проводами. В этом случае индуктивность питающей сети КЭП, а, следовательно, и $f_{рез}$ меняются, согласно уравнению (7), в зависимости от расстояния d между осями проводов.

В ходе исследований установлено, что тип силовой цепи ВИП, закон управления, частота преобразования не влияют на частотные характеристики входного импеданса КЭП. Низкочастотный участок входного импеданса КЭП определяется мощностью нагрузки и наличием (отсутствием) ВИП, создающим неминимально-фазовый сдвиг. Участки средних и высоких частот зависят от параметров кабельной сети и входного фильтра ВИП: $L_{КС}$, $r_{КС}$, $C_{ВФ}$, $r_{ВФ}$. Минимальной и достаточной информацией, позволяющей определить частотные характеристики входного импеданса КЭП с ВИП на раннем этапе проектирования, являются мощность нагрузки $P_н$, индуктивность кабельной сети $L_{КС}$, емкость входного фильтра ВИП $C_{ВФ}$, активные сопротивления КС $r_{КС}$ и ВФ $r_{ВФ}$. На основании выражения (3) можно построить АЧХ и ФЧХ входного импеданса отдельного КЭП с ВИП с погрешностью 3...5 % при ограниченной информации о канале.

Для определения результирующего входного импеданса системы КЭП по выражению (4) используются входные импедансы отдельных КЭП. Для системы, состоящей из КЭП с ВИП, входные импедансы отдельных каналов могут быть определены по выражению (3). Для КЭП, содержащих электромеханические преобразователи, ЧХ должны быть определены экспериментальным путем по их аналогам.

Частотные характеристики результирующего входного импеданса системы КЭП могут быть применены при формировании технического задания на проектирование СЭП автономного объекта. Определение допустимых значений выходного импеданса СЭП автономного объекта на раннем этапе проектирования должно осуществляться в соответствии с (5) и (6). Задание требований к выходному импедансу СЭП из условий устойчивости АСЭС на раннем этапе проектирования позволит сократить трудоемкость проектирования СЭП за счет сокращения времени проектирования либо за счет уменьшения трудозатрат при проектировании системы в результате исключения этапа доработки энергопреобразующей

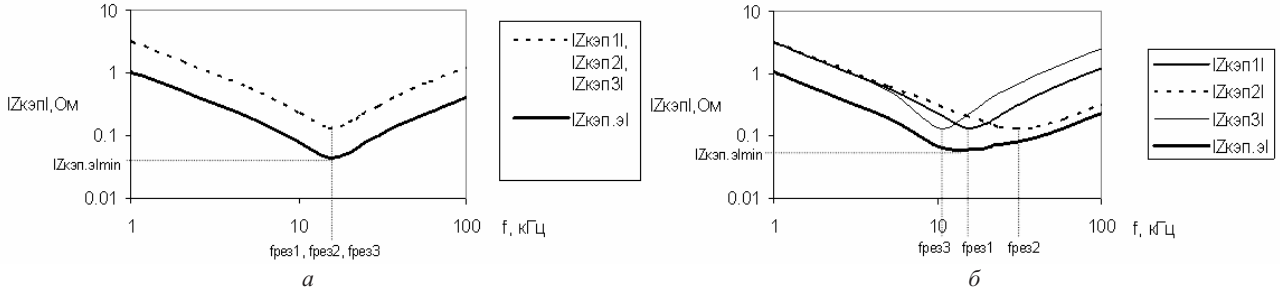


Рис. 4. АЧХ входного импеданса отдельных КЭП и результирующего входного импеданса системы КЭП

аппаратуры СЭП после стадии испытаний АО, если АСЭС оказывается неустойчивой.

Разнесение отдельных подсистем КЭП по резонансной частоте позволяет снизить требования к выходному импедансу СЭП автономного объекта.

Библиографичекий список

1. Системы электропитания космических аппаратов / Б. П. Соустин [и др.]. Новосибирск : ВО «Наука», Сиб. издат. фирма, 1994. 318 с.

2. Злакоманов, В. В. Взаимодействие динамических систем с источниками энергии / В. В. Злакоманов, Б. С. Яковлев. М. : Энергия, 1980. 176 с.

3. Пат. 2238583 Российская Федерация, МКИ5 G 05F 1/56. Способ управления импульсным стабилизатором / Алатов И. В., Вторушин Ю. А., Краснобаев Ю. В., Мамлин Б. Н. : Опубл. 20.10.04. Бюл. № 29.

4. Иванчура, В. И. Устойчивоть импульсных стабилизаторов постоянного напряжения с корректирующим устройством в цепи ОС / В. И. Иванчура, А. В. Казанцев, Б. П. Соустин // Техническая термодинамика. 1987. № 4. С. 147.

5. Калантаров, П. Л. Расчет индуктивностей : справ. кн. / П. Л. Калантаров, Л. А. Цейтлин. Л. : Энергоатомиздат, 1986. 488 с.

U. V. Krasnobaev, I. N. Pozharkova

DEFINITION OF TARGET IMPEDANCE ADMISSIBLE VALUES OF INDEPENDENT POWER SUPPLY SYSTEM

It is described definition method of target impedance admissible values of independent power supplie system at early design stages in conditions of the limited information about power consumption channels. It is conducted research of dependences of an entrance impedance of the power consumption channel with secondary power supply from its parameters with using channel models in Pspice format. It is offered the way of easing of requirements to a target impedance of power supplies system.

УДК 621.314.2

Ю. В. Краснобаев

АМПЛИТУДНО-ИМПУЛЬСНАЯ МОДЕЛЬ СИЛОВЫХ ЦЕПЕЙ СТАБИЛИЗАТОРОВ НАПРЯЖЕНИЯ

Предложена универсальная амплитудно-импульсная модель силовых цепей стабилизаторов напряжения с широтно-импульсной модуляцией по регулируемым составляющим процессов.

Импульсные стабилизаторы напряжения (ИСН) находят широкое применение в автономных системах электропитания, например в системах электропитания космических аппаратов [1]. В таких системах к выходу ИСН подключаются несколько потребителей электроэнергии, взаимодействующих через общее выходное напряжение стабилизатора. При этом система «ИСН–потребители» может стать неустойчивой. Обеспечить ее устойчивость можно снижая выходной импеданс ИСН путем повышения его быстродействия [1].

Из всех известных подходов к синтезу законов управления, обеспечивающих ИСН с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) высокое быстродействие, особый интерес представляет метод [2], заключающийся в следующем:

– представлении силовых цепей ИСН с ШИМ в режиме малых отклонений адекватной амплитудно-импульсной моделью по регулируемым составляющим процессов;

– синтезе закона управления с использованием полиномиальных уравнений [3] синтеза систем с амплитудно-импульсной модуляцией (АИМ);

– реализации синтезированного закона управления в ИСН с учетом специфики ШИМ.

Этот метод [2] позволил его авторам синтезировать закон управления, обеспечивающий минимальную конечную длительность переходных процессов в ИСН с силовой цепью понижающего типа (рис. 1).

В то же время авторы этого метода не смогли применить его для синтеза быстродействующих ИСН с силовыми цепями повышающего (рис. 2), инвертирующего (рис. 3) типов и модификаций всех рассматриваемых типов ИСН из-за отсутствия амплитудно-импульсных моделей этих стабилизаторов по регулируемым составляющим процессов. На практике широко применяются ИСН всех рассматриваемых типов и модификаций. В связи с этим задача определения их амплитудно-импульсных моделей по регулируемым составляющим процессов актуальна и ее решение необходимо для синтеза законов управления и анализа процессов в ИСН.

Рассмотрим разделение общего процесса изменения переменных состояния в ИСН с ШИМ на стационарный процесс, соответствующий неизменной (стационарной)

длительности $t_{и.ст}$ импульсов управления регулирующим элементом (РЭ) и процесс регулирования, обусловленный приращением длительности $t_и$ импульса управления на величину $t_{и.р}$ относительно стационарной длительности $t_{и.ст}$. Полезную информацию о процессе регулирования несут только регулируемые составляющие. Для процесса регулирования в режиме малых отклонений, когда $t_{и.р} << T$, где T – период преобразования, переход от системы с ШИМ к системе с АИМ осуществляется путем замены регулируемой составляющей импульсов напряжения $U_{L.р}(t)$, воздействующих со стороны РЭ на дроссель и имеющих длительность $t_{и.р}(t)$, эквивалентными по вольт-секундной «площади» δ-функциями.

В качестве примера на временных диаграммах (рис. 4) приведен процесс изменения напряжения $U_L(t)$ и тока $I_L(t)$ дросселя L и напряжения $U_C(t)$ на емкости конденсатора C в схеме (рис. 2, *а*) с разделением на регулируемую (помечена индексом «р») и стационарную (помечена индексом «ст») составляющие. Рассмотрен режим неизменного тока нагрузки ИСН.

Для всех схем регулируемая составляющая напряжения $U_{L.р}(t)$ на дросселе L имеет вид двухполярных импульсов с амплитудой $U_{L.р.А}(t)$ и длительностью $t_{и.р}(t)$. Амплитуда $U_{L.р.А}(t)$ регулируемой составляющей напряжения определяется как разность напряжений $U_{L.нак}(t)$ и $U_{L.рас}(t)$ на дросселе L на интервалах накопления и расходования энергии дросселя:

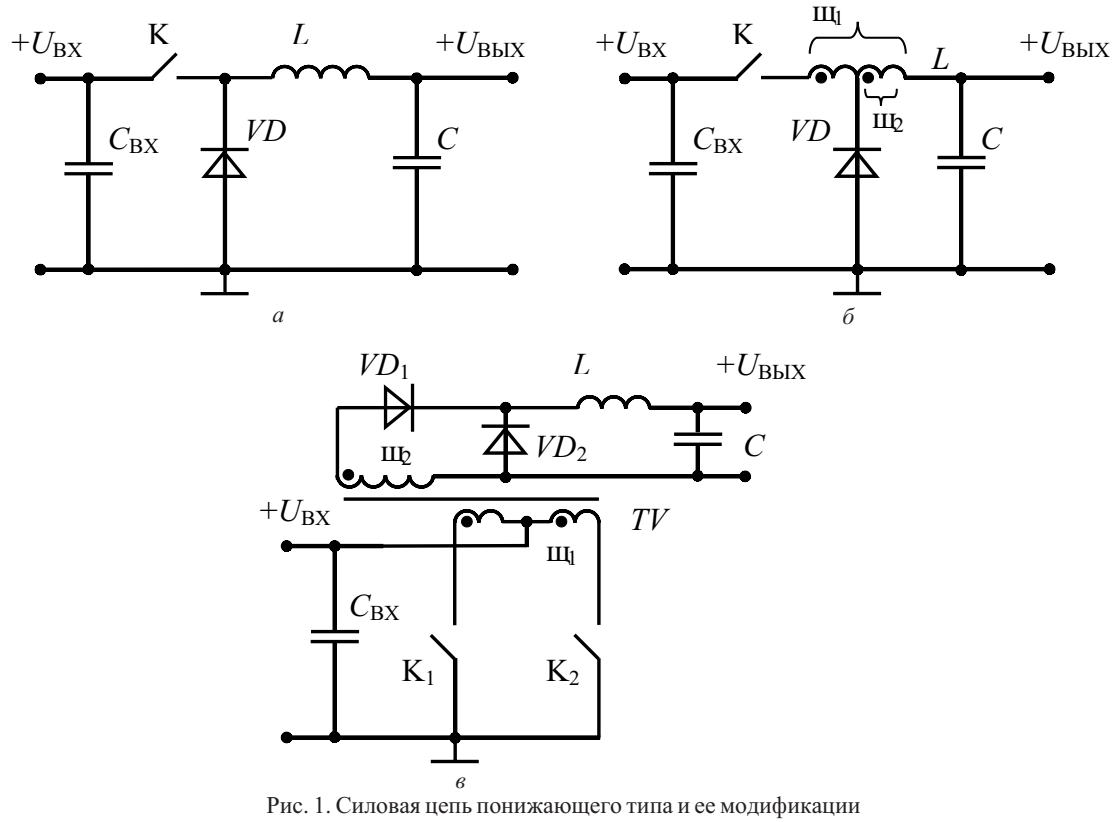


Рис. 1. Силовая цепь понижающего типа и ее модификации

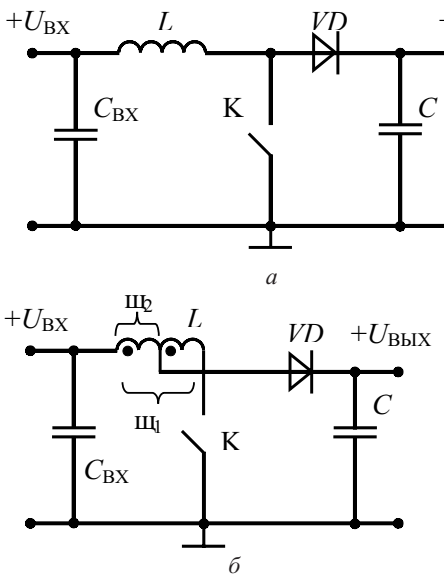


Рис. 2. Силовая цепь ИСН повышающего типа и ее модификация

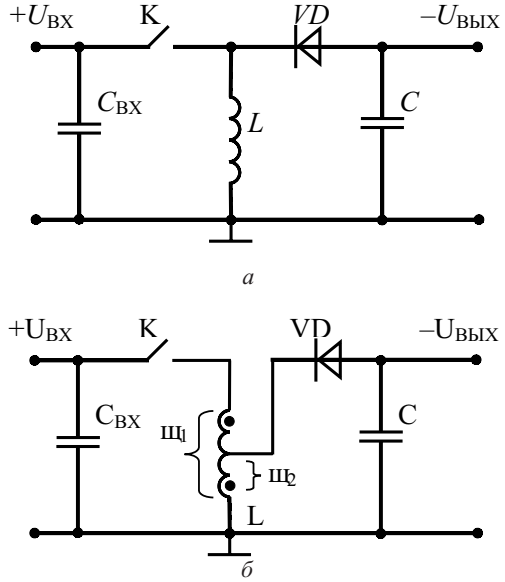


Рис. 3. Силовая цепь ИСН инвертирующего типа и ее модификация

$$U_{L.\text{р.А}}(t) = U_{L.\text{нак}}(t) - U_{L.\text{рас}}(t). \quad (1)$$

Например, на интервале накопления энергии ключ К включен, в ИСН и повышающего, и инвертирующего типов $U_{L.\text{нак}}(t) = U_{\text{ВХ}}(t)$. На интервале расходования энергии ключ К выключен, и в повышающем ИСН $U_{L.\text{рас}}(t) = U_{\text{ВХ}}(t) - U_{\text{ВЫХ}}$, а в инвертирующем ИСН $U_{L.\text{рас}}(t) = -U_{\text{ВЫХ}}$, где $U_{\text{ВХ}}(t)$ и $U_{\text{ВЫХ}}$ – напряжения на входе и выходе ИСН соответственно. Следовательно, в повышающем ИСН

$$U_{L.\text{р.А}}(t) = U_{L.\text{нак}}(t) - U_{L.\text{рас}}(t) = U_{\text{ВЫХ}},$$

а в инвертирующем ИСН

$$U_{L.\text{р.А}}(t) = U_{L.\text{нак}}(t) - U_{L.\text{рас}}(t) = U_{\text{ВХ}}(t) + U_{\text{ВЫХ}}.$$

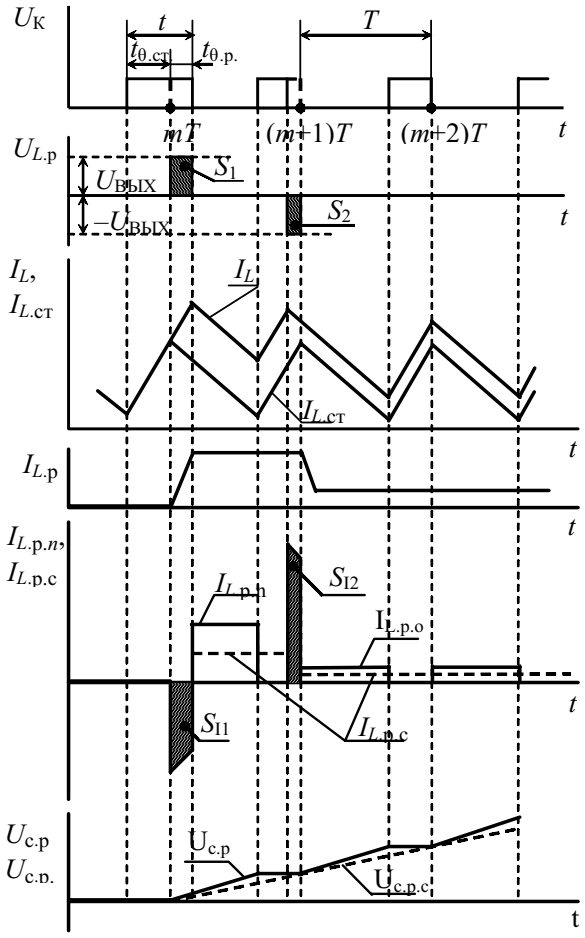


Рис. 4. Временные диаграммы, поясняющие выделение регулируемых составляющих процессов

Аналогично с использованием выражения (1) определены амплитуды $U_{L.\text{р.А}}(t)$ регулируемых составляющих напряжения на дросселе для всех рассматриваемых схем. Особенность определения $U_{L.\text{р.А}}(t)$ для схем с автотрансформаторным включением дросселя состоит в том, что амплитуда $U_{L.\text{р.А}}(t)$ определяется как амплитуда напряжения не на всем дросселе, а на его части с числом витков ω_2, которая через диод *VD* подключается к конденсатору *C* и выходу ИСН. При этом $U_{L.\text{нак}}(t) = K_{\text{тр}} U_L(t)$, где $K_{\text{тр}} = \omega_2/\omega_1$ – коэффициент трансформации, а $U_L(t)$ – напряжение, приложенное ко всему дросселю *L* на интервале накопления энергии.

В отличие от ИСН понижающего типа в ИСН повышающего и инвертирующего типов и их модификациях регулируемая составляющая тока $I_{L.\text{р}}(t)$ дросселя *L* передается в конденсатор *C* только на интервалах проводящего состояния диода *VD*. Эта передаваемая часть $I_{L.\text{р.п}}(t)$ регулируемой составляющей тока $I_{L.\text{р}}(t)$ дросселя приведена на соответствующей временной диаграмме (рис. 4). Выделенные на ней штриховкой ампер-секундные «площади» тока S_{I1} и S_{I2} вызваны не регулируемой составляющей тока $I_{L.\text{р}}(t)$ дросселя, а объясняются изменением длительности передачи стационарной составляющей тока $I_{L.\text{ст}}(t)$ дросселя в конденсатор *C*.

А. В. Манаков, В. И. Иванчура, Б. П. Соустин показывают, что для случая малых отклонений и при управлении ИСН, обеспечивающем минимальную конечную длительность переходных процессов, ампер-секундные «площади» S_{I1} и S_{I2}, примерно равные по модулю и противоположные по знаку, взаимно компенсируются. Поэтому можно пренебречь их влиянием на изменение регулируемой составляющей напряжения $U_{C.\text{р}}$ на емкости *C* конденсатора [2].

Поскольку в схемах, приведенных на рис. 2 и 3, регулируемая составляющей тока $I_{L.\text{р.п}}(t)$ дросселя *L* передается на выход ИСН на интервалах проводящего состояния диода *VD*, то среднее за период *T* значение передаваемой регулируемой составляющей тока дросселя

$$I_{L.\text{р.с}}(t) = K_{\text{св}} I_{L.\text{р.п}}(t),$$

где $K_{\text{св}} = (1 - K_{\text{з.ст}})$ – коэффициент связи (относительное время проводящего состояния диода), а $K_{\text{з.ст}} = t_{\text{и.ст}}/T$ – стационарный коэффициент заполнения импульсов управления $U_{\text{К}}$ ключом К, на соответствующей временной диаграмме $I_{L.\text{р.с}}(t)$ показана пунктиром. На временных диаграммах $U_{C.\text{р}}(t)$, $U_{C.\text{р.с}}(t)$ показаны регулируемые составляющие напряжения на емкости конденсатора *C*, обусловленные регулируемыми составляющими тока дросселя $I_{L.\text{р.п}}(t)$ и $I_{L.\text{р.с}}(t)$, соответственно. Поскольку в моменты времени mT регулируемые составляющие напряжений $U_{C.\text{р}}(mT)$ и $U_{C.\text{р.с}}(mT)$ равны, то в амплитудно-импульсной модели ИСН реальную дискретную связь дросселя *L* с конденсатором *C* можно заменить на непрерывную посредством звена с коэффициентом передачи $K_{\text{св}}$.

Общее правило для определения $K_{\text{св}}$ можно записать следующим образом:

$$K_{\text{св}} = K_{\text{п.нак}} K_{\text{з.ст}} + (1 - K_{\text{з.ст}}), \quad (2)$$

где $K_{\text{п.нак}}$ – коэффициент передачи на выход регулируемой составляющей тока дросселя *L* или его обмотки с числом витков ω_2 на этапе накопления энергии дросселя. Для схем, приведенных на рис. 2 и 3 $K_{\text{п.нак}} = 0$. В схеме, приведенной на рис. 1, *б* $K_{\text{п.нак}} = \omega_2/\omega_1$, а в остальных схемах $K_{\text{п.нак}} = 1$. Коэффициенты связи для всех рассматриваемых схем, полученные с использованием уравнения (2), сведены в таблицу, где $K_U = U_{\text{ВЫХ}}/U_{\text{ВХ}}$, а $K_{\text{тр}} = \omega_2/\omega_1$.

В ИСН (рис. 1, *а*) при выполнении следующих условий:

$$1/\omega_{\Phi} >> T \text{ и } T_L >> T, \quad (3)$$

где $\omega_{\Phi} = 1/\sqrt{LC}$, $T_L = L/R_L$, *L* и R_L – индуктивность и активное внутреннее сопротивление дросселя, а *C* – емкость конденсатора фильтра, и законе управления, обеспечивающем минимальную конечную длительность переходных процессов, можно пренебречь влиянием емкостного накопителя энергии на индуктивный, а саму

непрерывную часть представить в виде последовательно включенных дросселя и конденсатора с передаточными функциями $W_L(p) = 1/(pL)$ и $W_C(p) = 1/(pC)$, соответственно [2].

Схема (номер рθсσнка)	Статθческθй коэффθцθент Заполненθя $K_{з.ст}$	Амплθтσда регσлθрσемой составляющей напряженθя дросселя $U_{L.р.А}$	Коэффθцθент связθ $K_{св}$
1, *а*	K_U	$U_{ВХ}$	1
1, *б*	$\dfrac{K_U}{K_{ТР} + K_U(1 - K_{ТР})}$	$K_{ТР}U_{ВХ} - (K_{ТР} - 1)U_{ВЫХ}$	$1 + (K_{ТР} - 1)K_{З.СТ}$
1, *в*	$K_{ТР}K_U$	$K_{ТР}U_{ВХ}$	1
2, *а*	$\dfrac{K_U - 1}{K_U}$	$U_{ВЫХ}$	$1 - K_{З.СТ}$
2, *б*	$\dfrac{K_U - 1}{K_U - 1 + K_{ТР}}$	$(K_{ТР} - 1)U_{ВХ} + U_{ВЫХ}$	$1 - K_{З.СТ}$
3, *а*	$\dfrac{K_U}{1 + K_U}$	$U_{ВХ} + U_{ВЫХ}$	$1 - K_{З.СТ}$
3, *б*	$\dfrac{K_U}{K_{ТР} + K_U}$	$K_{ТР}U_{ВХ} + U_{ВЫХ}$	$1 - K_{З.СТ}$

Если в рассматриваемых ИСН выполняются условия (3), а закон управления обеспечит им те же свойства [2], то амплитудно-импульсная модель силовой цепи для всех ИСН, с учетом наличия $K_{св}$, примет вид, приведенный на рис. 5. Входной сигнал $S_в(t) = U_{L.р.А}(t)\, t_{и.р}(t)$ модулятора определяется из условия замены регулируемой составляющей импульса эквивалентной по вольт-секундной «площади» δ-функцией. Коэффициент связи $K_{св}$ и амплитуда регулируемой составляющей напряжения $U_{L.р.А}(t)$ для каждого ИСН индивидуальны и приведены в таблице.

С целью подтверждения универсальности модели с использованием метода [2] синтезированы законы управления повышающим и инвертирующим ИСН. Исследования динамических характеристик этих ИСН, проведенные с использованием макетов и математических моделей в формате Pspise, подтвердили достижение минимальной конечной длительности переходных процессов при «малых» возмущающих воздействиях со стороны нагрузки. В качестве примера на рис. 6 приведены временные диаграммы тока дросселя *IL* и выходного напряжения $U_{ВЫХ}$ в ИСН повышающего типа при ступенчатом изменении тока $I_н$. При изменении тока нагрузки, вызывающем приращения длительности импульса управления $t_{и.р} << T$, длительность переходного процесса составляет два периода преобразования (рис. 6, *а*). При больших изменениях тока нагрузки и нарушении условия $t_{и.р} << T$, длительность переходного процесса увеличивается (рис. 5, *б*), что объясняется неадекватностью амплитудно-импульсной модели ИСН для случая значительных приращений длительности импульса управления силовым ключом в ИСН с ШИМ.

Разработанная амплитудно-импульсная модель по регулируемым составляющим процессов является универсальной и может использоваться в целях синтеза законов управления ИСН со всеми основными типами силовых цепей, имеющими индуктивный и емкостной накопители энергии.

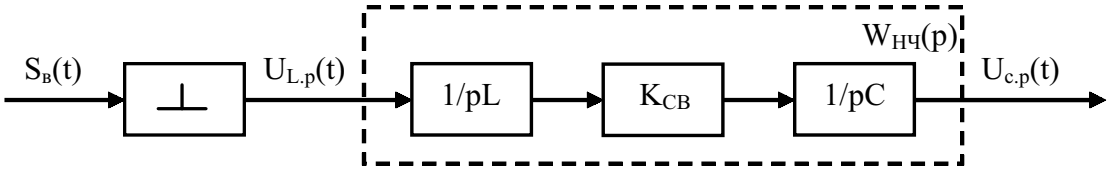
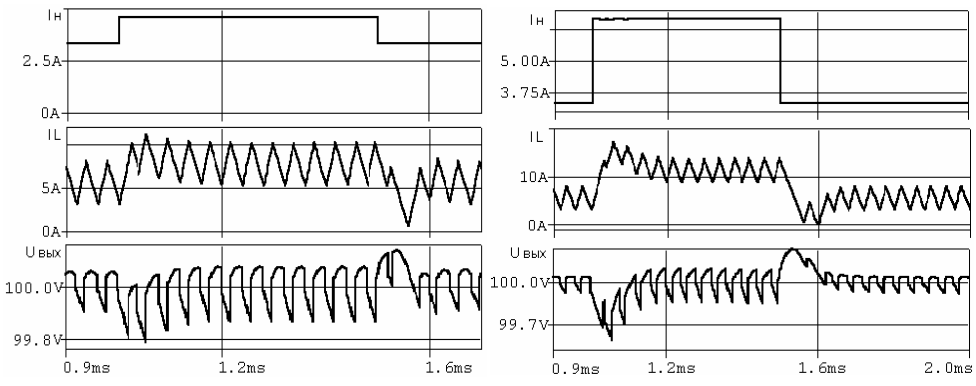


Рис. 5. Универсальная амплитудно-импульсная модель



а *б*

Рис. 6. Временные диаграммы процессов в ИСН повышающего типа

Библиографический список

1. Системы электропитания космических аппаратов / Б. П. Соустин [и др.]. Новосибирск : ВО «Наука». Сиб. издат. фирма, 1994. 318 с.

2. Манаков, А. В. Синтез и исследование быстродействующего импульсного стабилизатора напряжения с ШИМ / А. В. Манаков, В. И. Иванчура, Б. П. Соустин // Техническая электродинамика. 1987. № 1. С. 43–51.

3. Цыпкин, Я. З. Теория линейных импульсных систем / Я. З. Цыпкин. М. : Физматгиз, 1963. 968 с.

4. Краснобаев, Ю. В. Синтез и исследование быстродействующих импульсных стабилизаторов напряжения повышающего типа с ШИМ / Ю. В. Краснобаев, А. В. Манаков // Информатика и системы управления : межвуз. сб. науч. тр. Красноярск : ГУ НИИ информ. и процессов управления, 2002. Вып. 7. С. 75–81.

U. V. Krasnobayev

AMPLITUDE-PULSE MODEL OF VOLTAGE STABILIZER POWER CIRCUITS

Versatile amplitude-pulse model of voltage stabilizer power circuits width controlled-components pulse-width modulation of process is proposed.

УДК 621.345.1

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

НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР СКОРОСТИ В ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМОМ АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Приводится пример использования нечетких регуляторов для стабилизации скорости асинхронного электропривода. Результаты исследований показаны в сравнении с традиционными регуляторами. Исследования подтверждаются статическими и динамическими характеристиками.

Нечеткие регуляторы на основе систем нечеткого вывода [1; 2] вырабатывают управляющее воздействие подобно человеку-оператору, принимающему решения и следящему за выполнением технологического процесса. Благодаря этому нечеткие регуляторы хорошо зарекомендовали себя и широко используются в качестве регуляторов верхнего уровня, которые служат для выполнения технологического процесса, например, поддержание постоянства температуры, уровня воды в баке и др. При выполнении такого рода задач и проявляется все преимущество нечеткой логики перед традиционной – бинарной [3]. В качестве регуляторов нижнего уровня, осуществляющих регулирование координат (скорость, момент, ток, потокосцепление), чаще применяются традиционные П-, ПИ- и ПИД-регуляторы.

Задачей исследования является синтез нечеткого регулятора нижнего уровня и сравнение его с традиционным регулятором. Рассматриваемые регуляторы предназначены для стабилизации скорости частотно-управляемого асинхронного электропривода, структурная схема которого представленная на рис. 1

При построении модели АД были сделаны следующие допущения: все фазы обмотки машины симметричны, т. е. активные и индуктивные сопротивления фазных обмоток равны; параметры машины постоянны, т. е. не учитываются изменения параметров вследствие насыщения магнитной цепи, вытеснения тока, изменения температуры; соединения обмоток статора «звезда» без вывода нулевой точки; магнитная индукция распределена вдоль воздушного зазора синусоидально при синусоидальном напряжении питания; момент инерции постоянен.

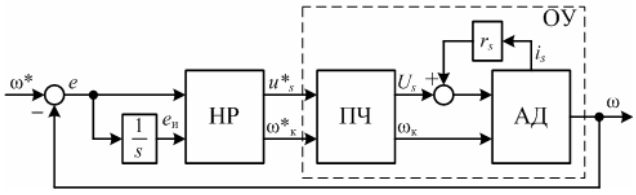


Рис. 1. Асинхронный электровод:
НР – нечеткий регулятор;
ПЧ – преобразователь частоты; АД – асинхронный двигатель; ОУ – объект управления; ω^* – задание на скорость; e – ошибка регулирования; $e_и$ – проинтегрированное значение ошибки; ω – угловая скорость; u^*_s – управляющее воздействие по амплитуде напряжения на статоре; $\omega^*_к$ – управляющее воздействие по частоте; i_s – ток статора; r_s – активное сопротивление статорной цепи

При сделанных допущениях математическая модель АД описывается следующими дифференциальными уравнениями [4]:

$$U_{xs} = r_э \cdot \left(T_э \cdot p + 1\right) \cdot i_{xs} -$$

$$-щ_k \cdot r_э \cdot T_э \cdot i_{ys} - \frac{K_r}{T_r} \cdot \Psi_{xr} -$$

$$-K_r \cdot Z_p \cdot щ \cdot \Psi_{yr},$$

$$U_{ys} = r_э \cdot \left(T_э \cdot p + 1\right) \cdot i_{ys} + \\ + щ_k \cdot r_э \cdot T_э \cdot i_{xs} - \\ - \frac{K_r}{T_r} \cdot \Psi_{yr} + K_r \cdot Z_p \cdot щ \cdot \Psi_{xr},$$

$$p \cdot щ = \frac{1}{J} \cdot \left(M_э - M_с\right),$$

$$M_э = \frac{3 \cdot Z_p \cdot K_r}{2} \cdot \left(\Psi_{xr} \cdot i_{ys} - \Psi_{yr} \cdot i_{xs}\right),$$

$$i_s = \sqrt{i_{xs}^2 + i_{ys}^2}.$$

Модель АД представлена в декартовой системе координат, вращающейся с произвольной скоростью ($\omega_к$), что позволяет перейти от изменяющихся по синусоидальному закону величин к постоянным величинам. Вектор $\overline{U_s}$ ориентирован по оси *x* (проекция вектора $\overline{U_s}$ на ось *y* принимается равной нулю).

Преобразователь частоты принят безинерционным звеном при следующих допущениях: все вентили преобразователя – идеальные ключи, имеющие в проводящем состоянии сопротивления, равные нулю, в непроводящем – бесконечности; время переключения вентилей равно нулю.

На вход регулятора (рис. 1) подаются ошибка по скорости и проинтегрированное значение ошибки. Регулятор вырабатывает два управляющих воздействия – u^*_s и $\omega^*_к$ (фактически НР вырабатывает сигнал $\omega^*_к$, а сигнал u^*_s получается масштабированием сигнала $\omega^*_к$). Оба сигнала являются заданием для преобразователя частоты. Следует отметить, что рассмотренная структура частотно-регулируемого электропривода реализует закон частотного управления с *ir*-компенсацией.

Основу алгоритма НР составляет база правил, определяющая взаимосвязь физических и логических переменных на качественном уровне [1–3]. Дополнительно к правилам в состав алгоритма входят функции принадлежности, количественно определяющие взаимосвязь физических переменных с термами.

Для входных переменных были использованы кусочно-линейные функции принадлежности: треугольные, линейные *S*-образные и линейные *Z*-образные [2].

База правил состоит из нечетких правил простого типа, содержащих одно подусловие и одно заключение, например: если «ошибка – малая положительная», то «управление – малое положительное» и т. д.

Все правила в базе можно условно разбить на две группы. Правила первой группы относятся только к входной переменной *e* и учитывают весь диапазон ее изменения. Правила второй группы относятся только к входной переменной $e_и$. Таким образом, мы можем формировать законы управления по каждой входной переменной независимо друг от друга: закон управления по сигналу *e* (рис. 2), закон управления по сигналу $e_и$ (рис. 3). Это увеличивает количество правил в базе, но упрощает сами правила и процесс синтеза регулятора.

Следует отметить, что условием нормального функционирования нечеткого регулятора, как и любого другого, является отсутствие недопустимых значений измеряемых координат, уводящих процесс из под контроля. В нашем случае если значение переменных *e* или $e_и$ выйдет из диапазона [–1, 1] (рис. 2, 3), то возникнет неучтенная базой нечетких правил ситуация и, как следствие, потеря устойчивости системы. Во избежание этого на входе регулятора в модели системы ЭП включены звенья, ограничивающие сигналы в нужном диапазоне.

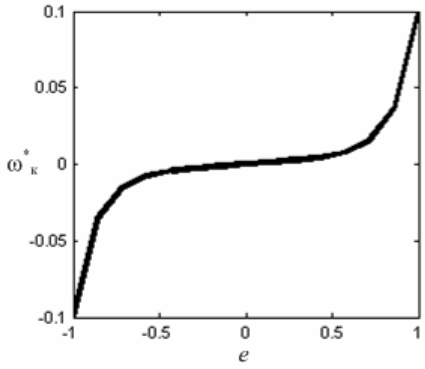


Рис. 2. Закон управления по сигналу *e*

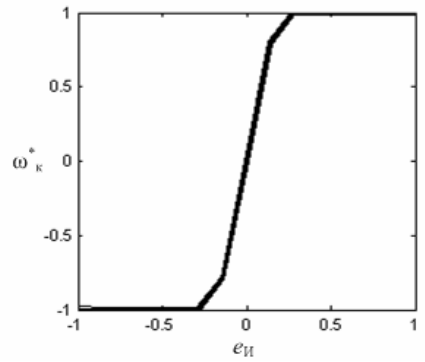


Рис. 3. Закон управления по сигналу $e_и$

При помощи НР может быть реализован практически любой алгоритм управления, в том числе и традиционные П-, ПИ-, ПИД-регуляторы. Первоначально был реализован НР с традиционным (линейным) пропорционально-интегральным законом управления.

Полученные переходные процессы рассматриваемой системы ЭП с традиционным ПИ-регулятором показали, что он не обеспечивает требуемые показатели качества регулирования (перерегулирование не выше 5 % с минимальным временем переходного процесса), поэтому было принято решение перейти к нелинейному НР, реализующему закон управления с переменными составляющими (пропорциональной и интегрирующей) на всем диапазоне регулирования. Закон управления (рис. 2, 3) получен в ходе проведенных исследований и настройки нечеткого регулятора.

При настройке НР [3] увеличивалось число термов для переменных, корректировались значения отдельных термов и сама база правил. В итоге получен регулятор, обеспечивающий надежную стабилизацию скорости системы электропривода и минимизацию бросков момента и токов в переходных режимах.

Исследования производились при помощи пакета *MatLab* с использованием приложения *Fuzzy Logic Toolbox*, где разрабатывался и настраивался НР, и при-

ложения *Simulink* для изучения переходных характеристик.

Качество регулирования оценивалось по графикам переходных характеристик скорости и момента электропривода (рис. 4).

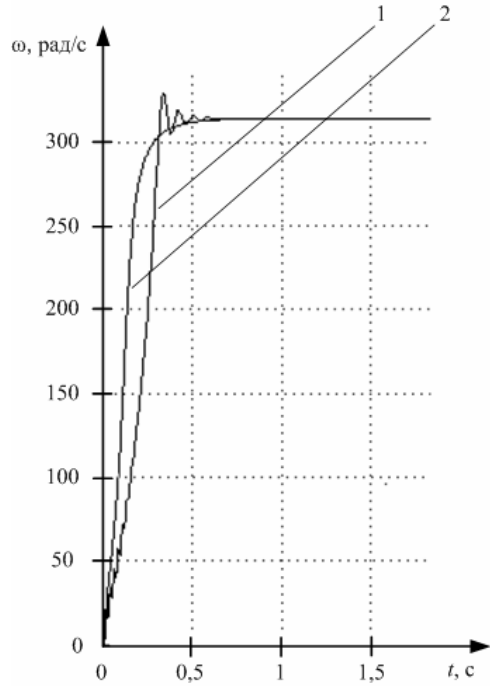


Рис. 4. Переходные характеристики при пуске системы: *1* – разомкнутой; *2* – замкнутой

В замкнутой системе с НР переходный процесс разгона АД носит апериодический характер при сохранении быстродействия.

Переходные характеристики при набросе номинальной нагрузки в момент времени $t = 2$ приведены на рис. 5.

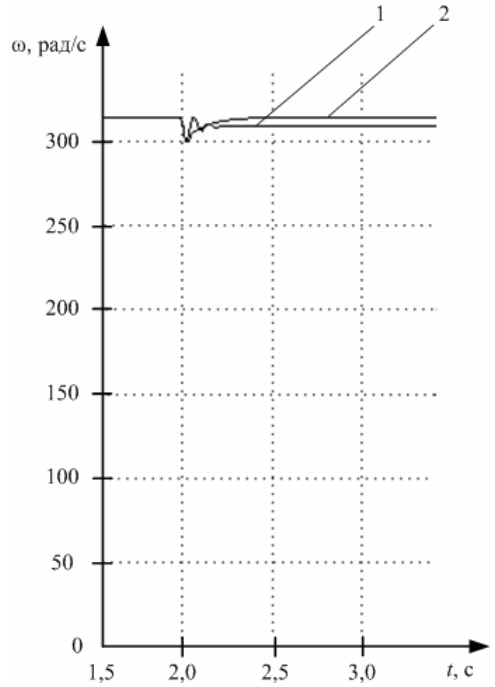


Рис. 5. Переходные характеристики при набросе номинальной нагрузки с системы: *1* – разомкнутой; *2* – замкнутой

При набросе нагрузки замкнутая система с нелинейным НР отрабатывает задание без ошибки с таким же динамическим перепадом скорости, как и в разомкнутой системе.

Также были сняты механические характеристики электропривода в статическом режиме с различными регуляторами (рис. 6). Система электропривода с нелинейным НР обладает абсолютно жесткой механической характеристикой (кривая *3*). При другой настройке НР жесткость механической характеристики ЭП (кривая *2*) приближается к естественной (кривая *1*). Поэтому в зависимости от требований технологического процесса возможна работа на механической характеристике с изменяемой жесткостью: от абсолютно жесткой до естественной.

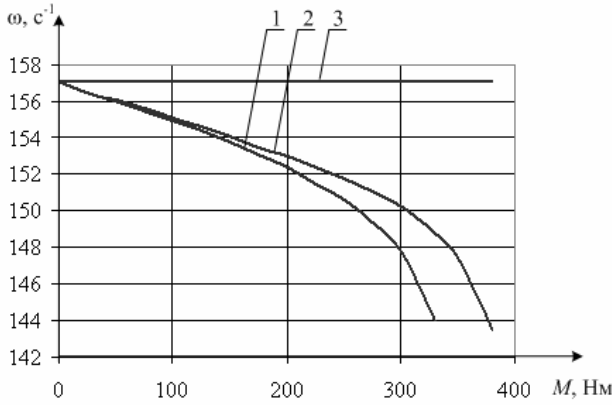


Рис. 6. Механические характеристики электропривода

Проведено исследование системы с разработанным НР на грубость, поскольку процессы в реальных системах из-за приближенности математической модели лишь в редких случаях соответствуют расчетным. Было увеличено и уменьшено на 75 % активное сопротивление ротора машины. Система осталась устойчивой с допустимыми ухудшениями показателей качества. Отсюда можно сделать вывод о том, что система обладает необходимой грубостью.

В результате проведенных исследований был разработан НР, обеспечивающий надежную стабилизацию скорости АД на заданном уровне.

Библиографический список

1. Кривенков, М. В. Возможности системы MATLAB для реализации нечетких методов управления / М. В. Кривенков, С. Р. Залялеев, А. Н. Пахомов // Оптимизация работы электротехнических систем : межвуз. сб. науч. тр. / отв. ред. С. Р. Залялеев ; Краснояр. гос. техн. ун-т. Красноярск, 2006. 315 с.

2. Леонников, А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А. В. Леонников. СПб. : БХВ-Петербург, 2003. 736 с.

3. Терехов, В. М. Системы управления электроприводов : учеб. для студ. высш. учеб. заведений / В. М. Терехов, О. И. Осипов ; под. ред. В. М. Терехова. М. : Издательский центр «Академия», 2005. 304 с.

4. Карагодин, И. С. Уравнения динамики частотно-управляемых электроприводов : учеб. пособие / И. С. Карагодин, А. А. Федоренко ; Краснояр. педаг. ин-т. Красноярск, 1985. 92 с.

M. V. Krivenkov, A. N. Pakhomov, V. I. Ivanchura

FUZZY CONTROLLER OF SPEED IN FREQUENCY-CONTROLLED THE ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE

It is given an example of use of fuzzy controllers for stabilization of speed of the asynchronous electric drive. Results of the researches are shown in comparison with traditional regulators. Researches prove to be true static and dynamic characteristics.

УДК 621.3.049.77

Г. Г. Крушенко, С. Н. Решетникова

ПРИМЕНЕНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ НАНОТЕХНОЛОГИЙ

Описано современное состояние и перспективы развития нанотехнолий, а также применение нанопорошков высокопрочных тугоплавких химических соединений для повышения физико-механических характеристик и эксплуатационных изделий, изготовляемых из различных металлов и сплавов различными методами.

В последние годы большое внимание уделяется нанопорошкам (НП) химических соединений, которые представляют собой сверхмелкозернистые кристаллические или аморфные образования с размерами, не превышающими 100 нм. Такое отношение к этим материалам объясняется тем, что они обладают уникальными физико-химическими свойствами и механическими характеристиками, существенно отличающимися от таковых для материалов того же химического состава в массивном состоянии. Причем эти свойства могут в определенной степени передаваться получаемым из них или с их участием изделиям.

Если совсем недавно публиковались данные только о способах и оборудовании для получения НП, а также результаты изучения их свойств, то к настоящему времени все чаще появляются публикации по их использованию для создания продукции как на металлической, так и на эластомерной основе [1; 2]

В 2000 г. в США было выделено [3] 497 млн долл. для финансирования работ в области нанотехнологий как одной из высокоперспективных отраслей, при этом большая доля из них (170 млн долл.) предусмотрена для финансирования работ на прорывных направлениях, в частности, в области материаловедения. В 2003 г. для проведения нано-исследований в США в рамках National Nanotechnology Initiative было выделено 770 млн долл., в 2004 г. эта сумма была увеличена на 9,5 % (т. е. на 73,15 млн долл.) [4]. А согласно одобренному Палатой Представителей законопроекту, для проведения работ по программам в области нанотехнологий на последующие три года планируется 2,36 млрд долл.

В ноябре 2002 г. в Брюсселе стартовала Sixth Framework Programme of the European Community for research technological development and demonstrates activities (FP6) с суммарным финансированием 1 320 млн евро, которая включает семь приоритетных направлений, в том числе и исследования в области нанотехнологий и нанонауки с бюджетом 120 млн евро. Программа FP6 открыта и для России.

Состоянию нанотехнологий в России в настоящее время посвящена опубликованная в журнале «Вестник РАН» статья член-корреспондент РАН И. В. Мелихова [5], излагающая суть его выступления на майском (2002 г.) заседании Президиума РАН, а также последовавшее за ним обсуждение [6], охватившее широкий круг нанонауки в целом. В результате обсуждения было рекомендовано рассмотреть этот вопрос на декабрьской (2002 г.) Научной сессии Общего собрания РАН. На указанной сессии и был заслушан доклад лауреата Нобелевской премии академика Ж. Алферова «Нанотехнологии и наноструктуры», в котором он сообщил, что Россия занимает лидирующие позиции в этом научном направлении, которое будет определять в XXI в. прогресс в целом ряде областей науки и техники, включая материаловедение. Постановлением Общего собрания РАН было решено включить программу развития нанотехнологий в число главных приоритетов РАН. И в начале 2003 г. была создана комплексная Программа РАН «Фундаментальные проблемы физики и химии наноразмерных систем и наноматериалов».

В настоящее время сотни организаций во многих странах изготовляют нанопорошки различного химического состава и разрабатывают с их применением различные нанотехнологии для получения продукции широкого профиля. Публикуются сотни статей и монографий, проводятся десятки конференций. Однако практически отсутствует информация о применении нанопорошков в приложении к конструкционным сплавам и получаемым из них изделиям, что не было обнаружено и при подробном ознакомлении с перечнем применяющихся в настоящее время нанотехнологий, а также с перечнем нанотехнологий, появление которых прогнозируется на период с 2010 по 2040 гг. [7]. Автор этой работы, проанализировав обширную научно-техническую литературу, установил, что в настоящее время в мире применяется 57 нанотехнологий, которые охватывают такие области, как компьютерная техника и электроника, биологические науки, простые волокна, защита от коррозии, катализаторы, лег-

коочистимые материалы, космос, экология, военные применения, наномеханосинтез, наномедицина, крионика, оптика и керамика. В каждую из них, в свою очередь, входит ряд нанотехнологий, среди которых можно выделить относительно близкие к предмету, описываемому в настоящей работе: применяющиеся в наши дни – защита сплавов от коррозии, сверхпрочные материалы, керамика. В период с 2010 по 2020 гг. ожидается внедрение 29 нанотехнологий (разработка сверхпрочных адаптивных материалов, новых материалов для космических применений), а с 2030 по 2040 гг. – еще 28 (производство продуктов с заданной атомной структурой, дубликаторы материи).

Однако «отцом» этого направления можно считать известного физика, лауреата Нобелевской премии Р. Фейнмана, который в 1959 г. в своей знаменитой лекции, известной под названием «Там внизу, еще много места», опубликованной в 1960 г. [8], указал на возможные значительные перспективы конструирования в масштабе атомов и молекул, которые могут быть достигнуты в результате получения материалов и устройств в атомно-молекулярном масштабе (atomic-molecular scale) и отметил, что для управления свойствами этих малых наноструктур («nano»-structures), необходимо будет создать новый класс миниатюрного инструментария.

В то же время по данным [9] исторический приоритет в изготовлении и использовании ультрадисперсных (наносистем принадлежит России. Именно в России (СССР) еще в 1950-е гг. на предприятиях атомной промышленности впервые в мире были получены ультрадисперсные порошки металлов с размером частиц около 100 нм, которые были успешно применены при изготовлении мембран для установок диффузионного разделения изотопов урана. А в 1960-е гг. в Институте химической физики АН СССР был разработан левитационный способ (испарение с последующей конденсацией) получения ультрадисперсных порошков. В 1970-е гг. с помощью методов электрического взрыва проводников и плазмохимического синтеза ассортимент ультрадисперсных порошков был существенно расширен, и в эти же годы появились открытые публикации о различных способах получения и о необычных свойствах малых частиц. В 1980-е гг. был разработан химико-металлургический метод получения ультрадисперсных порошков. Выход нескольких монографий и большого числа научных статей в конце 1970-х – начале 1980-х гг. сформировал в СССР новое научно-техническое направление – «ультрадисперсные системы».

За рубежом первые нанофазные материалы в виде кристаллов диаметром в несколько нанометров были получены лишь в 1987 г. Г. Глайтером с коллегами (ФРГ, университет Саарландеса в Саарбрюккене) [3]. При этом было установлено, что если в обычных крупнозернистых материалах почти все атомы находятся внутри кристалла, то в нанофазных материалах большая их часть расположена на поверхности.

В США исследования нанокристаллических материалов начались только с 1990 г.

Распоряжением Правительства РФ от 25.08.2006 № 1188-р одобрена «Программа координации работ в области нанотехнологий и наноматериалов в РФ», направленная на ускоренное развитие работ в области нанотехнологий и наноматериалов, призванная обеспечить реализацию стратегических приоритетов РФ, изложенных в Основах политики РФ в области развития науки и технологий на период до 2010 г. и дальнейшую перспективу. Основное назначение Программы – достижение целей, определенных Концепцией развития в РФ работ в области нанотехнологий на период до 2010 г. Программа представляет собой комплекс мер, направленных на обеспечение координации работ по созданию и развитию научной, технической и технологической базы в области нанотехнологий и наноматериалов в РФ, а также на объединение усилий федеральных органов исполнительной власти и организаций в интересах ускоренного формирования наноиндустрии в РФ, и является важнейшим организационным инструментом реализации указанной Концепции.

Согласно Программе перспективными направлениями развития нанотехнологий и наноматериалов являются создание научно-технологической и метрологической базы наноиндустрии; разработка наноинженерии и наносистемной техники; создание функциональных и конструкционных наноматериалов; разработка нанобиотехнологии; осуществление подготовки и переподготовки кадров для наноиндустрии.

В развитие указанной Программы на заседании Правительства РФ 07.09.2006 г. была обсуждена разработанная Минобрнауки РФ Федеральная целевая программа «Развитие инфраструктуры наноиндустрии в РФ» на 2007–2010 гг., которая должна заложить отвечающий современным требованиям материально-технический базис и обеспечить функционирование составляющих инфраструктуры национальной нанотехнологической сети, что, в конечном счете, обеспечит России определенные конкурентные преимущества в борьбе за лидерство в мировой наноиндустрии. Общий объем финансирования Программы составит около 29,06 млрд руб. В результате обсуждения Программы Правительство обязало Минобрнауки, Минэкономразвития и Минфин завершить до 1 октября 2006 г. ее разработку, после чего внести на рассмотрение правительства. При этом Правительство поручило Минобрнауки и Минэкономразвития совместно с Минпромэнерго, Минобороны, Роскосмосом, Росатомом и другими заинтересованными федеральными органами исполнительной власти принять необходимые меры по развитию нанотехнологий.

Однако при этом следует учесть [10], что если согласно принятой в США в 2000 г. упомянутой выше федеральной «Национальной нанотехнологической инициативе» (NNI)) будет разрабатываться не менее тысячи направлений с суммарным финансированием в 2007 г. свыше 1,2 млрд долл., то российская наука способна обеспечить поиск лишь в 200–300 направлениях. При этом по произведенным оценкам, финансирование даже единичной нанотехнологической разработки должно соответствовать примерно 3 млн долл. в год. Поэтому если работы будут производиться по всем 200–300 направлениям, к которым подготовлена российская наука, то финансирование Программы обойдется примерно в 30 млрд руб. в год. А создание соответствующих обеспечивающих производств и служб обойдется еще дороже. Однако та-

кие затраты жизненно необходимы для устойчивого стратегического развития России.

Следует отметить, что, начиная с 1973 г., задолго до «нанобума», вначале в Красноярском институте цветных металлов, затем в Отделе машиноведения ИВМ СО РАН проводятся исследования, в ходе которых был выполнен большой объем работ по изучению возможности применения НП (более 20 видов), полученных методом плазмохимического синтеза и взрывным методом для повышения физико-механических характеристик и качества металлоизделий. Первое авторское свидетельство на изобретение по применению НП для измельчения структуры алюминиевых сплавов [11] получено в 1981 г. В проведенных исследованиях в основном использовались НП, полученные методом плазмохимического синтеза [12], который по своим технологическим возможностям и технико-экономическим показателям является наиболее перспективным из известных способов.

При этом были использованы НП, полученные методом плазмохимического синтеза в ИФХИМС СО РАН (Новосибирск), ИНХТ РАН (Черноголовка), ИМЕТ РАН (Москва) ИНХ АН Латвии, Алма-Атинском энергетическом институте, Сибирском металлургическом институте (Новокузнецк) и РИТЦ СО РАН (Томск): Al_2O_3; B_4C; BN; HfN; HfB_2; LaB_6; SiC; Si_3N_4; TaN; $Ti_xC_yN_z$; $Ti_xC_yN_zO_i$; TiN; TiO_2; VC; $V_xC_yN_z$ и другие, а также смеси НП: AlN + TiN; BN + B_4C; SiC + B_4C.

Другая технология получения НП – метод электрического взрыва проводника (электродуговой синтез), при котором материал проводника в виде проволочки при прохождении по нему мощного импульса тока разрушается, в результате чего образуются ультрадисперсные частицы [13]. Эта технология успешно применяется в научно-исследовательских институтах высоких напряжений (Томск). Согласно работам сотрудников этого института, полученные этим методом частицы порошков обладают запасенной избыточной энергией, величина которой в несколько раз превышает теплоту плавления того же количества вещества в массивном состоянии. Проведенный анализ возможных путей запасания энергии показал, что физически реальным и достаточным в количественном отношении является лишь механизм, связанный со сверхравновесным растворением водорода в металле.

В общем, это отмечалось для частиц НП, полученных методом плазмохимического синтеза [1], что первопричиной возникновения избыточной энергии является развитая поверхность частиц, что, в свою очередь, приводит к отрицательному эффекту – активному насыщению НП газами из окружающей атмосферы как на стадии синтеза, так и при хранении на воздухе даже в двойной полиэтиленовой упаковке. Используемый нами Al_2O_3 был получен методом электродугового синтеза в РИТЦ СО РАН (Томск).

В результате проведенных исследований по нанотематике как в рамках 9-и хоздоговорных тем, так и по 2-м грантам, включая грант Президиума РАН (2003–2007 гг.), было получено 25 авторских свидетельств СССР и патентов РФ на изобретения по применению НП для повышения качества металлоизделий, изготовляемых разными технологиями из различных металлов и сплавов, защищено 4 кандидатские и 1 докторская диссертации. Большая часть работ была проведена с целью измельчения структуры и, как результат, повышения уровня механических свойств изделий из алюминиевых литейных сплавов (фасонное литье и жидкая штамповка) и чугуна (фасонное литье), алюминия и деформируемых алюминиевых сплавов при литье слитков полунепрерывным способом. Кроме того, получены положительные результаты при сварке объемной конструкции транспортного средства из листов сплава АМг6 сварочными электродами, содержащими в объеме НП. При этом повысились механические свойства сварного шва. Использование НП при электроискровом легировании обеспечило повышение твердости поверхности металлоизделий. В результате введения НП в противопригарные покрытия, применяющиеся для окраски разовых песчаноглинистых литейных форм и стержней, на поверхности стальных и чугунных отливок практически отсутствовал трудноудалимый пригар и повысилась чистота их поверхности. Использование огнеупорных красок, содержащих НП, для окраски поверхности металлических литейных форм, повышает чистоту поверхности отливок и увеличивает съем отливок с одной покраски формы.

В настоящее время в продолжаются исследования по упомянутой выше комплексной Программе РАН «Фундаментальные проблемы физики и химии наноразмерных систем и наноматериалов» в рамках проекта «Разработка технологий применения нанопорошков химических соединений для повышения механических свойств металлоизделий».

Работа выполнена при финансовой поддержке программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Разработка методов получения новых химических веществ и создание новых материалов» (проект 8.23), РФФИ (№ 06-08-00477) и ИНТАС (№ 04-80-6791).

Библиографический список

1. Плазмохимический синтез ультрадисперсных порошков и их применение для модифицирования металлов и сплавов / В. П. Сабуров [и др.]. Новосибирск : Наука ; Сибирская издательская фирма РАН, 1995. 344 с.

2. Упрочнение металлических, полимерных и эластомерных материалов ультрадисперсными порошками плазмохимического синтеза / М. Ф. Жуков [и др.]. Новосибирск : Наука ; Сибирская издательская фирма РАН, 1999. 312 с.

3. Большое будущее маленьких кристаллов // В мире науки (Scientific American): 1990. № 7. С. 24–25.

4. March, G. Hopeful future for a nano-Europe / G. March // Materials Today. 2003. № 7–8. P. 40–45.

5. Мелихов И. В. Физикохимия наносистем: успехи и проблемы / И. В. Мелихов // Вестник РАН. 2002. Т. 72. № 10. С. 900–904.

6. Наука «уходит» в микромир // Вестник РАН. 2002. Т. 72. № 10. С. 905–909.

7. Свиденко, Ю. Г. Прогноз развития нанотехнологий с 2003 по 2050 гг.: прогноз развития нанотехнологий в будущем, а также отрасли человеческой деятельности, которые будут при этом затронуты / Ю. Г. Свиденко. [Электронный вариант]. Электрон. дан. Режим доступа : http://nanonewsnet.ru/09.08.2004]. Загл. с экрана.

8. Feynman, R. P. There's plenty of room at the bottom / R. P. Feynman // Engineering and Science. 1960. V. 23. № 2. P. 22–36.

9. Арсентьева, И. Ультрадисперсные порошки металлов / И. Арсентьева // Национальная металлургия. 2002. № 4. С. 66–71.

10. Мелихов, И. За бортом. Нанотехнологический бум – без нас / И. Мелихов // Поиск. 8 сентября 2006. № 36.

11. А.с. СССР № 831840. Способ модифицирования литейных алюминиевых сплавов эвтектического типа / Г. Г. Крушенко [и др.] ; заявл. 17.10.79; опубл. 23.05.81. Бюл. № 19.

12. Колесников, А. В. Применение ультрадисперсных порошков для повышения качества деталей машин и механизмов / А. В. Колесников, Г. Г. Крушенко, М. Н. Филько. Алма-Ата : КазНИИНТИ, 1991. 72 с.

13. Гаврилов, В. Н. Получение частиц методом электрического взрыва проводников / В. Н. Гаврилов, Е. А. Литвинов // Прикладная механика и техническая физика. 1993. Т. 34. № 6. С. 28–34.

G. G. Krushenko, S. N. Reshetnikova

CURRENT STATUS AND THE FUTURE TRENDS OF THE NANOTECHNOLOGIES

There presented current status and the future trends of the nanotechnologies. Using the nanopowders of high-strength refractory chemical compounds (nitrides, borides, carbides, etc.) for increasing the physics-mechanical and operating characteristics of factory-made goods made of different metals and alloys by different methods is described.

УДК 621.396.67

В. С. Панько, Ю. П. Саломатов

ДВУХЧАСТОТНОЕ СОГЛАСОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ НАГРУЗОК С ПОМОЩЬЮ ДВОЙНОГО Г-ЗВЕНА

Рассматривается метод согласования произвольных комплексных нагрузок с активным сопротивлением линии передачи с помощью сдвоенного Г-звена, обеспечивающий возможность согласования в двух частотных точках. Синтезируются четыре согласующие цепи. Приводятся соотношения для расчета элементов цепей и пример согласования.

Одним из важнейших аспектов проблемы преобразования электромагнитной энергии, принимаемой антенной системой в электрический сигнал, является эффективность согласования комплексного сопротивления антенны Z_H и активного сопротивления линии передачи R (рис. 1).

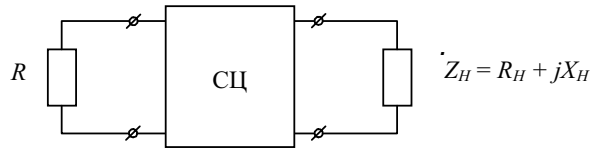


Рис. 1. Согласующая цепь

Для количественной оценки степени согласования используется понятие коэффициента стоячей волны (КСВ), равно

$$\text{КСВ} = \frac{1+\left|\overset{g}{\Gamma}\right|}{1-\left|\overset{g}{\Gamma}\right|},$$

где Г – комплексный коэффициент отражения:

$$\overset{g}{\Gamma} = \frac{\overset{g}{Z}_H - R}{\overset{g}{Z}_H + R}.$$

Наиболее эффективным с точки зрения передачи мощности от антенны в фидер является значение КСВ, равное единицы, возможное, когда отражение падающей волны отсутствует. Как правило, при прямом подключении нагрузки (антенны) к линии передачи условие согласования не выполняется. Для его достижения используются устройства, включаемые каскадно с нагрузкой и называемые согласующими цепями. Согласующая цепь (СЦ) обеспечивает трансформацию сопротивления нагрузки Z_H к сопротивлению фидера R в одной частотной точке либо в полосе частот. Для построения согласующих цепей используются известные методы узкополосного [1], широкополосного [2] и многополосового [3] согласования. Вместе с тем в практике построения антенных систем нередко возникают требования, затрудняющие применение указанных методов согласования. В частности, такие антенные системы используются в устройствах связи с разделением по частоте. Пусть система связи использует частоту f_1 для передачи и частоту f_2 для приема, разнесение между частотами произвольное (рис. 2). Для удовлетворительной работы антенны требуется обеспечение согласования одновременно на обеих частотах. Использование упомянутых выше методик согласования в данном случае затруднительно по следующим причинам. Узкополосное согласование подразумевает всего одну точку согласования. При широкополосном согласовании возможно обеспечение полосы частот $\Delta f = f_2 - f_1$, однако в этом случае количество элементов СЦ будет увеличиваться с увеличением Δf. Кроме того, согласно теореме Фано, при увеличении Δf общий уровень согласования будет ухудшаться.

Возможно применение метода многополосового согласования, однако структура полученной СЦ может оказаться неоправданно сложной и, как следствие, трудной в реализации и настройке.

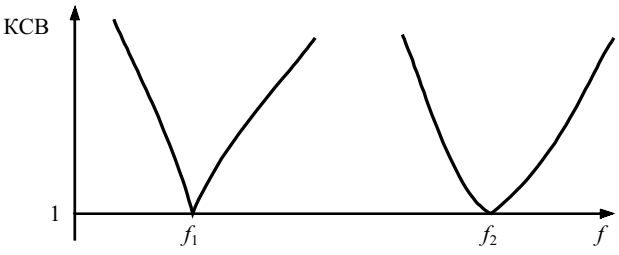


Рис. 2. Двухчастотное согласование

Вместе с тем, возможно развитие методики узкополосного согласования, позволяющее добиться получения двух произвольно разнесенных по частоте точек согласования.

Базовой методикой для построения двухчастотных согласующих цепей является метод согласования с помощью Г-звеньев. Известно [1], что с помощью Г-звена, состоящего из двух сосредоточенных реактивных элементов, возможно трансформировать любое активное сопротивление нагрузки к любому активному сопротивлению линии передачи. Соотношения для такой трансформации следуют из конфигурации звеньев (рис. 3).

Двухэлементные звенья также могут быть использованы для согласования комплексных нагрузок с активным сопротивлением линии. В этом случае реактивная часть сопротивления нагрузки рассматривается либо как часть согласующей реактивности, либо образует с нею резонансный контур. Очевидно, что достигается только одночастотное согласование. Существует четыре основных варианта согласующих Г-звеньев, получающихся различными комбинациями параллельных и последовательных реактивностей (рис. 4).

Из данной методики следуют два важных факта, имеющих значение для рассмотрения способов двухчастотного согласования:

– для каждого эквивалента нагрузки всегда существует не менее двух согласующих Г-звеньев;

– из этих двух согласующих звеньев одно звено имеет индуктивность в последовательной цепи и емкость в параллельной, другое звено – емкость в последовательной цепи и индуктивность в параллельной (рис. 4, *а* и *б*, *в* и *г*). Иначе говоря, типы параллельных и последовательных элементов в двух звеньях различны.

Суть методики двухчастотного согласования заключается в замене элементов согласующего Г-звена колебательными контурами. Элементы контуров выбираются таким образом, чтобы на одной частоте согласования контур имел резонанс, на другой – соответствовал одиночному Г-звену. На резонансной частоте параллельный контур (рис. 5) имеет бесконечное сопротивление, последовательный контур (рис. 6) – нулевое. Применяя параллельный контур в параллельной ветви СЦ и последовательный контур в последовательной ветви, можно рассчитать элементы контуров таким образом, что на одной частоте контуры будут представлять собой Г-звено, а на второй частоте, которая будет резонансной для обоих контуров, не будут оказывать влияния на согласование. Найдем соотношения, позволяющие произвести такую замену.

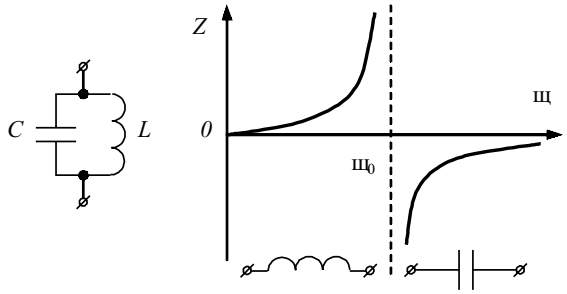


Рис. 5. Параллельный контур

Сопротивление параллельного контура определяется по формуле

$$Z = \frac{\omega L}{1-\omega^2 LC}.$$

Пусть задана резонансная частота контура ω_0 и его сопротивление Z_1 на другой частоте ω_1, которая может быть выше или ниже резонансной. Найдем выражения для L и C, при которых выполняются следующие условия:

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ и } Z_1 = \frac{\omega_1 L}{1-\omega_1^2 LC},$$

т. е. при найденных значениях L и C контур будет иметь резонанс на частоте ω_0, а на частоте ω_1 его сопротивление будет равно заданному Z_1.

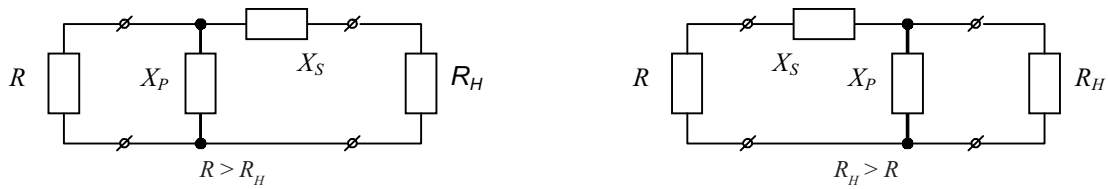


Рис. 3. Трансформация активных сопротивлений с помощью Г-звеньев

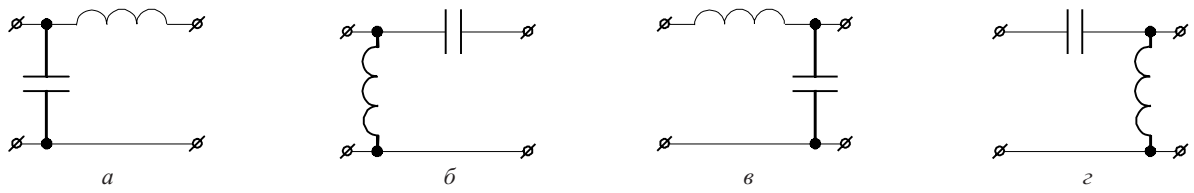


Рис. 4. Г-звенья

Индуктивность равна

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C}.$$

Выражая из приведенного уравнения емкость, получим

$$C = \frac{1}{Z}\frac{\omega_1}{\omega_0^2 - \omega_1^2}.$$

Для физической реализуемости ($C > 0$) должны выполняться следующие условия:

1) $Z_1 < 0$ и $\omega_0 < \omega_1$;

2) $Z_1 > 0$ и $\omega_0 > \omega_1$.

Это означает, что на частоте ниже резонансной параллельный контур может представлять индуктивность, а выше резонансной – емкость.

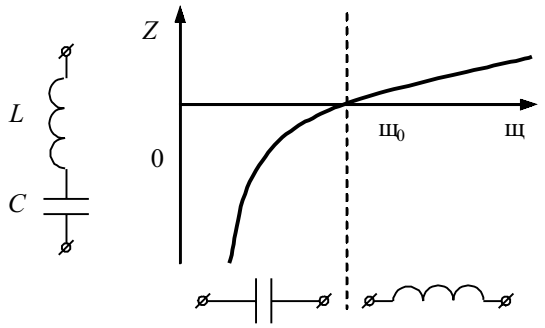


Рис. 6. Последовательный контур

Сопротивление последовательного контура равно

$$Z = \omega L - \frac{1}{\omega C}.$$

Аналогично параллельному контуру, необходимо найти выражения для L и C, удовлетворяющие условиям

$$\omega_0 = \frac{1}{\sqrt{LC}} \text{ и } Z_1 = \omega_1 L - \frac{1}{\omega_1 C},$$

где заданы ω_0 – резонансная частота контура и Z_1 – его сопротивление на частоте ω_0.

Проделывая аналогичные преобразования, получим

$$L = \frac{1}{\omega_0^2 C},\ C = \frac{1}{Z}\frac{\omega_1^2 - \omega_0^2}{\omega_1 \omega_0^2}.$$

Условия реализуемости:

1) $Z_1 < 0$ и $\omega_0 > \omega_1$ (индуктивность на частоте, выше резонансной);

2) $Z_1 > 0$ и $\omega_0 < \omega_1$ (емкость на частоте, ниже резонансной).

Порядок расчета СЦ выглядит следующим образом.

Шаг 1. Провести согласование нагрузки на первой частоте помощью обычного Г-звена. В результате получены 2 звена.

Шаг 2. Найти входное сопротивление нагрузки с подключенной СЦ на второй частоте.

Шаг 3. Провести согласование на второй частоте. В результате будет получено 4 СЦ.

Шаг 4. Заменить элементы вторых звеньев контурами согласно приведенным формулам.

Шаг 5. Объединить однотипные элементы, находящиеся рядом.

Приведен пример согласования нагрузки с линией передачи с помощью описанной методики. В качестве нагрузки была выбрана 3-элементная вибраторная антенна, расчет которой дает зависимость входного сопротивления и КСВ (рис. 7). Для согласования произвольно выбраны точки $f_1 = 790$ МГц и $f_2 = 910$ МГц, сопротивление соответственно $Z_н(f_1) = 31{,}3 + j2{,}5$ Ом и $Z_н(f_2) = 23{,}2 + j90{,}2$ Ом. Производится согласование с активным сопротивлением фидера 75 Ом.

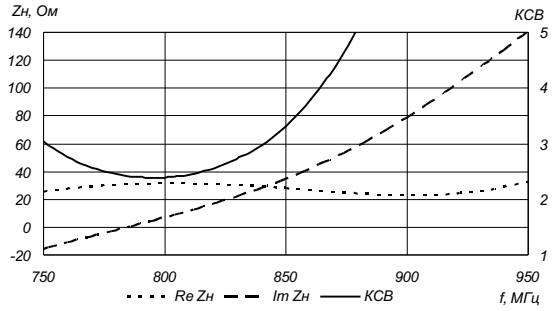


Рис. 7. Сопротивление нагрузки и КСВ

Рассчитанные по описанной методике согласующие цепи приведены ниже, на рис. 8 и 9. Соответствующие графики КСВ показаны на рис. 10 и 11.

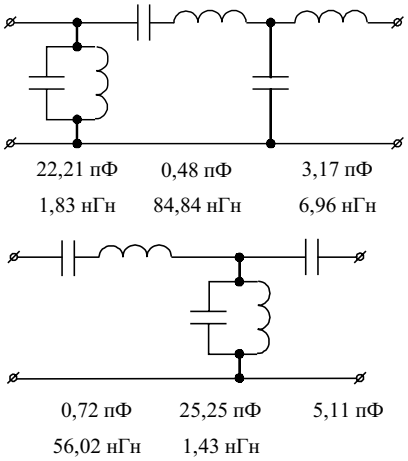


Рис. 8. Согласование двойным Г-звеном при f_1 = 790 МГц, f_2 = 910 МГц

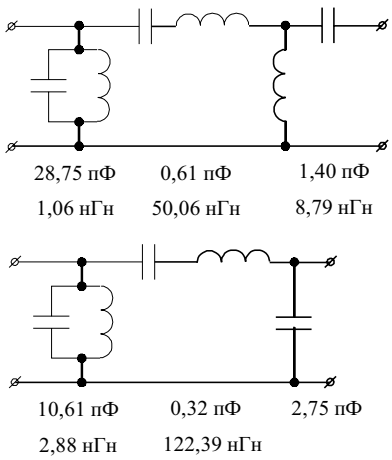


Рис. 9. Согласование двойным Г-звеном при f_1 = 910 МГц, f_2 = 790 МГц

Предложенный метод двухчастотного согласования с помощью двойного Г-звена позволяет для произволь-

ной комплексной нагрузки составить 4 СЦ, обеспечивающие согласование на двух частотах. Приведены соотношения для вычисления элементов цепей и пример расчета СЦ.

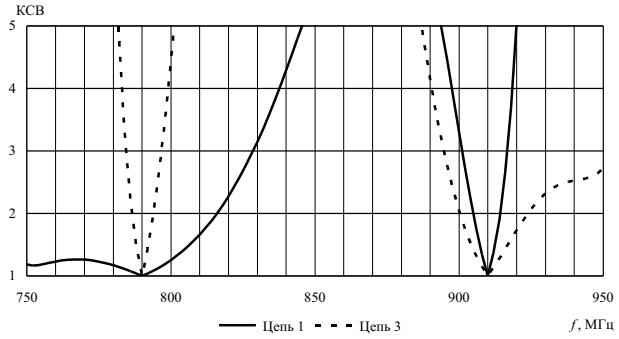


Рис. 10. КСВ при согласовании цепями 1 и 3

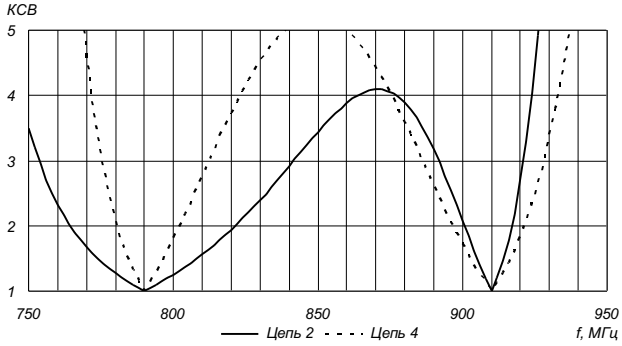


Рис. 11. КСВ при согласовании цепями 2 и 4

Библиографический список

1. Смит, Ф. Круговые диаграммы в радиоэлектронике : пер. с англ. / Ф. Смит. М. : Связь, 1976.

2. Матей, Д. Л. Фильтры СВЧ. Согласующие цепи и связи / Д. Матей, Л. Янг, Е. М. Т. Джонс. М. : Связь, 1971.

3. Алексеев, А. В. Многоканальные частотно-разделительные устройства и их применение / А. В. Алексеев, Г. А. Грошев, Г. Г. Чавка. М. : Радио и связь, 1981.

V. S. Panko, Yu. P. Salomatov

TWO-FREQUENCY MATCHING OF COMPLEX LOADINGS BY MEANS OF DOUBLE L-CELL

A method for matching of arbitrary complex loading with feeder line is described. It allows getting matching on two frequency points. Four matching circuits are synthesized. An example of matching and formulas are given.

УДК 331.108

Н. Я. Пахомова

РЕСТРУКТУРИЗАЦИЯ АЛЮМИНИЕВОЙ КОРПОРАЦИИ НА ПРИМЕРЕ ВЫДЕЛЕНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА АЛЮМИНИЕВЫХ ЗАВОДОВ «РУСАЛ»

Рассмотрены проблемы реструктуризации корпорации на примере предприятий алюминиевой отрасли.

Рыночные реформы в стране не только дали предприятиям экономическую свободу и статус коммерческих организаций, но и одновременно поставили перед ними комплекс сложнейших, неизвестных ранее задач. Для выживания и успешного функционирования организации должны преобразовать свои структуры так, чтобы они обладали потенциалом для решения новых задач, диктуемых рынком. Очевидно, что создание крупных компаний в алюминиевой промышленности России является, прежде всего, ответом на вызовы мирового рынка, состояние которого определяется процессом глобализации международной экономики.

В современных условиях конкурировать на рынке с ведущими мировыми корпорациями может только компания соответствующего масштаба, построенная на аналогичных организационных принципах. На вышеизложенном основывается объективная необходимость реструктуризации компании для повышения:

– конкурентоспособности на мировом уровне;

– инвестиционной привлекательности основного и вспомогательного производства;

– производительности труда и управления издержками производства.

В кратчайшие сроки в компании «РУСАЛ» были решены организационные проблемы, централизованы товарные и денежные потоки, разработана управленческая модель, началась унификация технологических и производственных процессов. В составе компании много заводов, и можно создать единый сервис для оптимизации расходов на управление и снижению издержек на производство ремонтов.

Выделение вспомогательных подразделений в самостоятельные бизнес единицы может достаточно быстро сказаться на эффективности деятельности предприятия.

1. Выделение дает возможность развивать активы как самостоятельный бизнес, где все цели и задачи становятся главными и первоочередными, а не второстепенными.

2. Возможность достижения поставленных целей, безусловно, возрастает у руководителей самостоятельных специализированных предприятий, так как для этого теперь они обладают реальной властью (правом самостоятельно принимать решения); необходимыми финансовыми ресурсами.

3. Самостоятельное сервисное предприятие не только имеет возможность добиваться повышения конкурентоспособности своих услуг, но и вынуждено делать это, поскольку вступают в силу законы рыночной конкуренции.

4. Когда персонал сосредоточен в обособленном предприятии, возникают дополнительные возможности по улучшению управляемости этим персоналом.

Целевая направленность исследования обусловила необходимость решения следующих основных задач:

– систематизировать теоретические положения с целью классификации понятия «реструктуризация»;

– исследовать организационно-производственную структуру заводов и определить направления их совершенствования для повышения инвестиционной привлекательности как необходимого условия проведения реструктуризации;

– разработать методику реструктуризации;

– определить основные стандарты для создания нового бизнеса;

– разработать параметры оценки эффективности выделения вспомогательного производства.

Предметом исследования явилась система экономических, финансовых и организационных отношений по формированию нового бизнеса на примере выделения цехов из состава алюминиевых заводов компании «РУСАЛ». Объектом исследования в работе избрана новая форма построения бизнес модели выделенного актива при реструктуризации предприятий алюминиевой компании с учетом мирового и российского опыта.

Реализация предлагаемой методики реструктуризации позволяет предприятиям повысить акционерную стоимость, а также инвестиционную привлекательность как основного бизнеса, так и отдельных сервисных предприятий; приводит к повышению прозрачности компании для собственников и инвесторов, развитию конкурентной среды на рынке сервисных работ (рис. 1). Процесс реализации происходит в пять этапов:

1) разделение собственных активов на профильные и непрофильные;

2) сокращение издержек на социальные и непрофильные активы;

3) выделение вспомогательных производств;

4) построение бизнес моделей по видам сервисных услуг;

5) создание инжиниринговой компании. Сегодня для того чтобы построить и запустить в эксплуатацию новое предприятие или переоборудовать старое, помимо грамотной организации рабочего процесса необходимо учитывать целый ряд технических открытий и научных достижений.

По результатам проведенного исследования сделаны следующие выводы.

1. Работа, проведенная в рамках исследования, подтвердила ее актуальность. На сегодняшний день решение проблем реструктуризации особенно важно для компании «РУСАЛ», для выполнения стратегии по управлению издержками в целях их снижения для повышения конку-

рентоспособности компании на мировом уровне и для выполнения миссии. Наша миссия заключается в том, чтобы стать самой эффективной алюминиевой компанией в мире.

2. В работе рассматривались различные подходы к решению вопросов реструктуризации. Рассматривая реструктуризацию как один из путей повышения финансовой устойчивости и конкурентоспособности предприятия, во-первых, мы сталкиваемся с несовершенной законодательной базой, при которой достаточно легко объявить предприятие банкротом. Во-вторых, это заниженная оценка рыночной стоимости предприятия, основанная на крайне некачественном анализе определенного сегмента рынка. В-третьих, к проблемам можно отнести налоговую политику государства. Размеры налогов, а особенно пени и штрафов превышают разумные пределы, возникают проблемы неплатежей. В-четвертых, можно отнести низкую компетентность финансовых руководителей предприятий, отсутствие у них видения перспективы в новых условиях.

Анализ показал, что своевременным и наиболее эффективным методом реструктуризации алюминиевых заводов в компании является передача малому предприятию части основных фондов на основании договора аренды.

Тем не менее, принципиальный вопрос: «Насколько текущая реорганизация крупного российского бизнеса будет отвечать задачам достижения его международной конкурентоспособности?», – остается актуальным.

3. За основу была взята модель построения бизнеса выделенного актива (рис. 2), где выделяемый вид деятельности должен быть жизнеспособным бизнесом. Для этого он должен обладать необходимым рыночным потенциалом, действовать в конкурентной среде и управляться как полноценная компания.

Таким образом, мы понимаем выделение здорового, жизнеспособного «ядра», вокруг которого формируется необходимая управленческая структура.

Основанием и исходными условиями для разработки методики реструктуризации послужили особенности функционирования предприятия по ремонту и обслуживанию оборудования на алюминиевых предприятиях компании «РУСАЛ» – ООО «Сервисный центр». Применительно к предприятиям, занимающимся ремонтом и обслуживанием оборудования, модель построения бизнеса представлена на рис. 3.

Предлагаемая модель построения бизнеса способствует оптимизации и унификации производственно-технологических процессов, эффективной постановке финансовой структуры, совершенствованию системы управления выделенного подразделения, состоящая из трех основных блоков:

1) производственной стратегии;

2) экономической стратегии;

3) управленческой стратегии.

«Блок производственной стратегии» направлен на разработку и внедрение следующих мероприятий:

– по увеличению срока службы электролизеров на основании разработанной «Схемы мониторинга срока службы электролизера», что позволит путем обработки статистических данных определить влияние тех или иных конструктивных решений не только на срок службы электролизера, но и на ведение технологии электролиза, производительность электролизера, расход электроэнергии;

– по сокращению простоя электролизеров в ремонте и систематизации в организации проведения ремонтных работ с учетом диагностики и анализа текущего состояния оборудования;

– механизации и внедрению новых разработок;

– Единому регламенту капитальных ремонтов электролизеров, где устанавливаются единые правила и порядок взаимодействия руководителей и специалистов управляющей компании, алюминиевых заводов и «Сервисного центра» в процессах планирования и управления капитальными и локальными ремонтами электролизеров.

«Блок экономической стратегии» представляет собой совокупность экономических разработок, направленных на единую методологию:

– по учетной и налоговой политике;

– учету затрат на ремонты по каждому типу электролизера, организацию учета затрат по филиалам, определению статей оценки НЗП, порядку распределения адми-

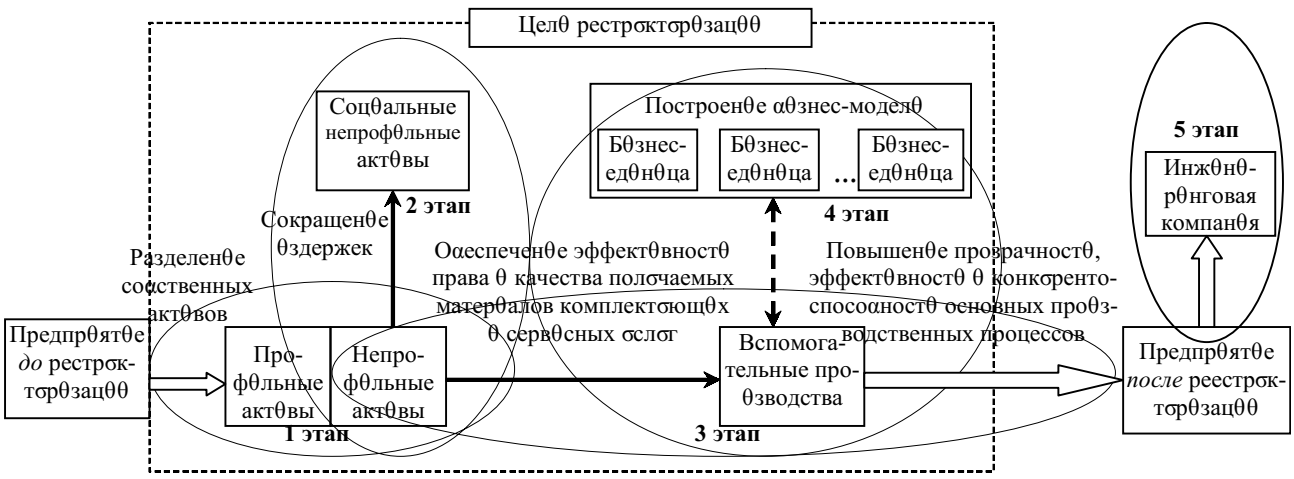


Рис. 1. Методика реструктуризации предприятия

нистративно-хозяйственных затрат по видам продукции, работ и услуг;

– системе бюджетирования: формирование бюджетов на основе бюджетов центров возникновения затрат, методике контроля и анализа исполнения бюджетов;

– Единой казначейской системе управления финансовыми ресурсами: управление денежными потоками, Кредитной политикой, привлеченными средствами.

«Блок управленческой стратегии», в котором разработаны и внедрены:

– организационная система управления, новая организационная структура;

– система оценки персонала;

– программа профессионального развития и повышения квалификации: направлена на работу с кадровым резервом, обучением и получением новых и дополнительных профессий, проведением тренингов и семинаров для сотрудников предприятия.

4. В рамках исследования самостоятельно на основе данных проведены анализ и расчет эффективности выделения вспомогательного производства по ремонту и об-

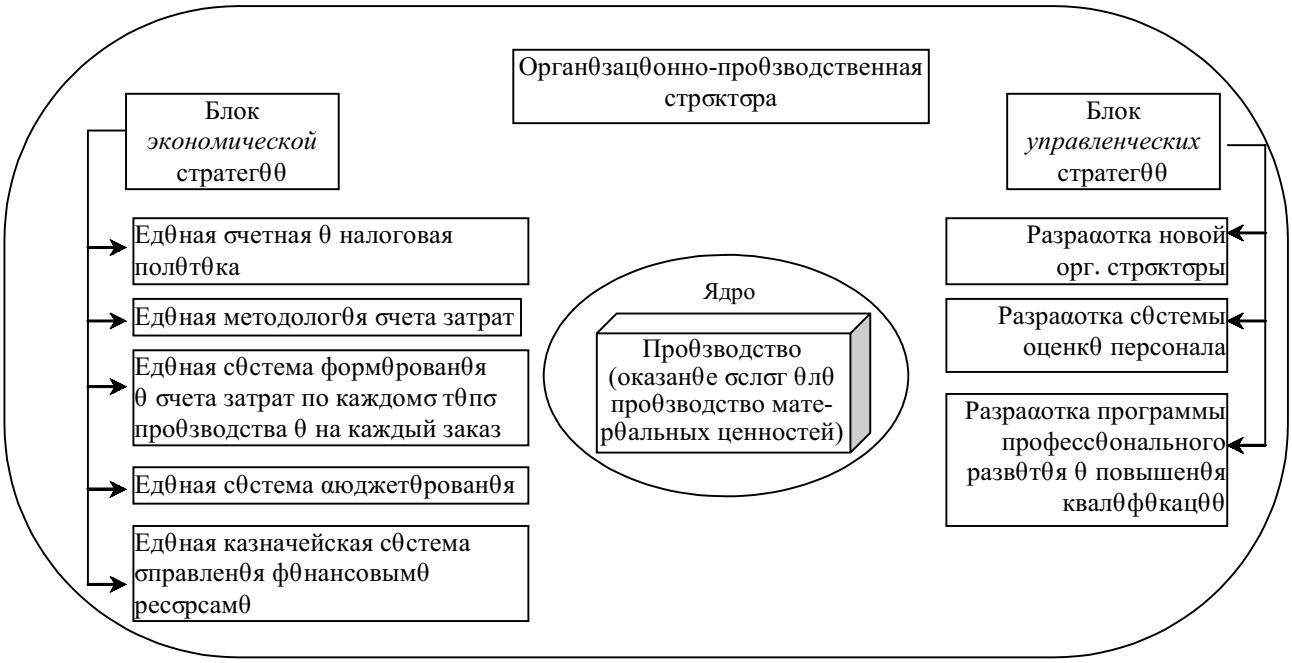


Рис. 2. Бизнес модель выделенного актива

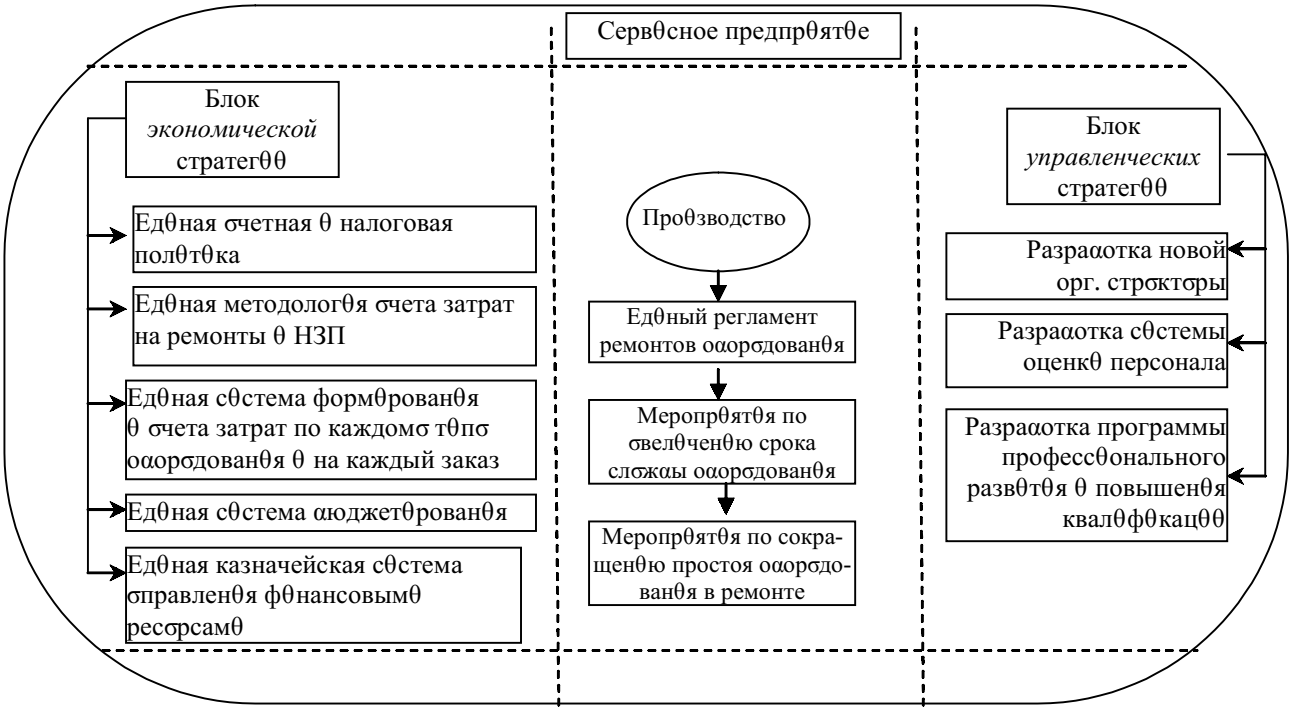


Рис. 3. Модель построения бизнеса
по ремонту и обслуживанию оборудования предприятия

служиванию оборудования на примере ООО «Сервисный центр – РУСАЛ».

По результатам анализа сформулированы выводы относительно эффективности проведенной реструктуризации.

Первые результаты работы «Сервисного центра»:

1) ремонт электролизеров в первый год работы выполнен с увеличением объемов работ, без увеличения численности и времени простоя оборудования в ремонте на 13 электролизеров;

2) снижены простои в капитальном ремонте электролизеров на 1 999 суток;

3) сокращено количество типов электролизеров, устанавливаемых после капремонта с 29 до 16;

4) благодаря разработанным мероприятиям по совершенствованию технологии набойки, удалось снизить количество отключений до 1 года до 56 штук;

5) провели сокращение персонала на 5 %;

6) дополнительный выпуск алюминия 233 т, так как существует прямая зависимость выпуска алюминия от количества отработанных ванносуток.

В целом за первый год работы ООО «Сервисный центр» были сокращены затраты на капитальный ремонт электролизеров по сравнению с утвержденным бизнес-планом на 2 733 тыс. долл. США.

Создание, а в дальнейшем и деятельность «Сервисного центра» полностью доказало эффективность выделения вспомогательного производства по ремонту и обслуживанию оборудования алюминиевых заводов: во-первых, ремонтное оборудование и материалы покупает одно лицо, а не четыре конкурирующих завода, как прежде; во-вторых, у алюминиевых заводов появляется возможность передавать друг другу опыт, внедрять новые передовые технологии и прогрессивные начинания.

Следует отметить, что процесс создания сети сервисных центров имеет большое значение не только для компании, но и для экономики региона, так как уменьшает ее зависимость от нескольких крупных предприятий и является реальным шагом в развитии среднего бизнеса.

Так, «Сервисный центр» намерен выходить со своими предложениями по оказанию услуг на предприятия других отраслей промышленности. К этому времени региональные производители смогут оценить выгоду такого сотрудничества. Развивающемуся промышленному предприятию будет удобнее и дешевле прибегнуть к услугам квалифицированного стороннего подрядчика, нежели создавать собственную ремонтную службу.

5. Следует отметить, что предлагаемая методика реструктуризации внедрена в практику работы предприятия холдингового типа ООО «Сервисный центр – РУСАЛ». Она применима не только для алюминиевых, но и для любых других крупных промышленных предприятий. Особенно эффективно будет использование данной модели для предприятий холдингового типа, в состав которых входит несколько производств, выпускающих однотипную продукцию.

Представляется, что проведенная аналитическая работа, разработанные методические положения и рекомендации могут быть как в теоретическом, так и в практическом плане использованы предприятиями, осуществляющими или готовящимися осуществить комплексную перестройку своих подсистем с целью адаптации к динамичной рыночной внешней среде.

N. Ya. Pahomova

THE RESTRUCTURING OF THE ALUMINIUM CORPORATION ON THE EXAMPLE OF ALLOCATION OF THE SUBSIDIARY PRODUCTION OF RUSAL ALUMINIUM PLANTS

The problems of restructuring on the example of aluminum industry are considered.

УДК 330.142.211

Е. С. Рыбакова

МЕТОДИКА ФОРМИРОВАНИЯ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ВОСПРОИЗВОДСТВА ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Представлена методика формирования инвестиционных ресурсов воспроизводства основных производственных фондов (ОПФ) предприятий машиностроительного комплекса с использованием имитационно-динамического моделирования. Данная методика поможет руководству машиностроительных предприятий принимать качественные решения по формированию инвестиционных ресурсов для воспроизводства ОПФ.

В настоящее время важнейшими проблемами предприятий машиностроительного комплекса является низкий уровень темпов воспроизводства, высокий физический износ и низкий технического уровня ОПФ, обусловленные недостаточным объемом инвестиций в ОПФ предприятий. Поэтому руководству машиностроительных

предприятий необходимо уделять больше внимания процессу формирования инвестиционных ресурсов и осуществлять более активный поиск и выбор различных источников пополнения инвестиционных ресурсов. Для решения этой проблемы может быть использована предложенная методика формирования инвестиционных ресурсов воспроизводства ОПФ предприятий машиностроительного комплекса с использованием имитационно-динамической модели процесса воспроизводства ОПФ и формирование инвестиционных ресурсов для воспроизводства ОПФ. Алгоритм методики представлен на рисунке.

Методика формирования инвестиционных ресурсов воспроизводства ОПФ предприятий машиностроительного комплекса состоит из этапов, которые состоят из нескольких шагов.

Первый этап. Формирование вариантов и форм воспроизводства ОПФ в прогнозируемом периоде.

Шаг 1. Задание необходимой производственной мощности ОПФ (Мн) в прогнозируемом периоде. Необходимая производственная мощность (Мн) определяется на основе планируемой производственной программы в разрезе различных технологических групп оборудования.

Шаг 2. Определение фактической производственной мощности ОПФ (Мф) с учетом состояния и уровня их использования на предприятии.

Шаг 3. Определение набора вариантов и форм воспроизводства ОПФ.

В соответствии с [1] выделяют следующие варианты воспроизводства ОПФ: простое нормативное, простое ускоренное, расширенное экстенсивное нормативное, расширенное экстенсивное ускоренное, расширенное интенсивное нормативное, расширенное интенсивное ускоренное, расширенное экстенсивно-интенсивное нормативное, расширенное экстенсивно-интенсивное ускоренное.

Согласно [2] выделяют следующие формы воспроизводства: новое строительство расширение, реконструкция и техническое перевооружение действующих предприятий.

Шаг 4. Выбор вариантов и форм воспроизводства, соответствующих следующему условию:

$$Мф \geq Мн, \quad (1)$$

где Мф – мощность фактическая; Мн – мощность необходимая.

Если вариант и форма воспроизводства не удовлетворяют заданному условию, то возвращаемся к шагу 3 и проверяем следующий вариант.

В результате получаем набор вариантов и форм воспроизводства ОПФ, соответствующих заданному условию.

Второй этап. Выбор варианта и формы воспроизводства ОПФ.

Шаг 5. Определение потребного объема инвестиционных ресурсов (Qинв.р) по выбранным вариантам и формам воспроизводства ОПФ.

Шаг 6. Выбор оптимального варианта и формы воспроизводства, соответствующие критерию

$$Q\theta нв.р \rightarrow \min, \quad (2)$$

где Qинв.р – объем инвестиционных ресурсов.

Если вариант и формы воспроизводства не соответствуют заданному критерию, то возвращаемся к шагу 5 и проверяем следующий вариант и форму воспроизводства.

В результате получаем оптимальный вариант и форму воспроизводства, обеспечивающие критерий минимума объема инвестиционных ресурсов.

Шаг 7. Построение графика потребности в инвестиционных ресурсах в прогнозируемом периоде для выбранных оптимального варианта и формы воспроизводства.

Третий этап. Формирование перечня доступных источников инвестиционных ресурсов воспроизводства ОПФ.

Шаг 8. Исследование источников инвестиционных ресурсов.

Составляется перечень всех существующих источников формирования инвестиционных ресурсов. Выделяют следующие основные источники:

– собственные внутренние: реинвестируемая часть прибыли, амортизационные отчисления, средства от продажи выбывающих внеоборотных активов, вклады участников, резервы, страховые суммы возмещения убытков, иммобилизируемая в инвестиции излишняя сумма собственных оборотных активов и прочие внутренние источники;

– собственные внешние: эмиссия акций, привлечение дополнительного паевого капитала, ассигнования из бюджетов разных уровней на безвозвратной основе, целевые ассигнования негосударственных фондов и институтов на безвозвратной основе, прочие внешние источники;

– заемные: долгосрочные кредиты банка, долгосрочные кредиты и займы небанковских финансовых учреждений, государственные целевые и льготные кредиты, финансовый лизинг, облигационный займ, прочие заемные источники.

Шаг 9. Выбор доступных источников инвестиционных ресурсов на основе соответствия факторам.

Выявляются ограничительные факторы для изученных источников инвестиционных ресурсов, определяющие возможность их использования на конкретном предприятии машиностроительного комплекса. На выбор доступных источников могут влиять следующие факторы: источники инвестиционных ресурсов, спрос на продукцию, сложность механизма получения инвестиционных ресурсов из источника, организационно-правовая форма, этап жизненного цикла организации, отраслевые особенности, нормативно-правовая база.

Затем осуществляется анализ существующих источников инвестиционных ресурсов на соответствие ограничительным факторам для конкретного предприятия. Если источник инвестиционных ресурсов не соответствует ограничительным факторам, то возвращаемся к шагу 8 и проверяем следующий источник.

В результате образуется перечень доступных источников формирования инвестиционных ресурсов для воспроизводства ОПФ с учетом ограничительных факторов для конкретного предприятия.

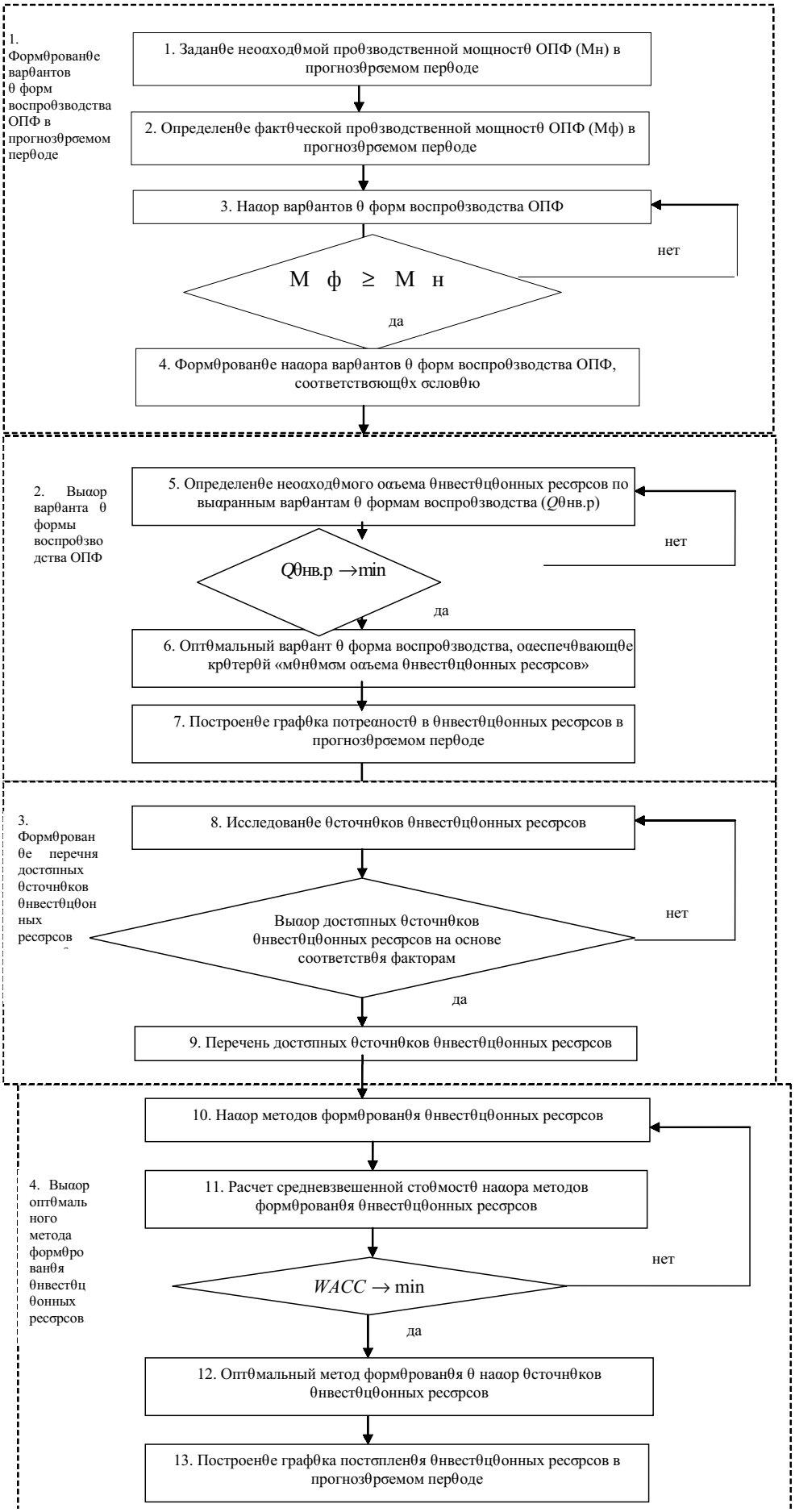
Четвертый этап. Выбор оптимального метода формирования инвестиционных ресурсов.

Шаг 10. Рассматривается набор методов формирования инвестиционных ресурсов.

Обычно рассматриваются пять основных методов [3; 4]:

1) полное самофинансирование предусматривает осуществление инвестирования исключительно за счет собственных источников;

2) акционерное;



Алгоритм методики формирования инвестиционных ресурсов воспроизводства ОПФ предприятий

3) кредитное финансирование;

4) лизинг или селенг;

5) смешанное финансирование.

Шаг 11. Расчет средневзвешенной стоимости набора методов формирования инвестиционных ресурсов. Для каждого метода в разрезе источников инвестиционных ресурсов рассчитывается средневзвешенная стоимость его реализации.

Шаг 12. Выбор метода формирования инвестиционных ресурсов, соответствующего критерию

$$WACC \rightarrow \min, \quad (3),$$

где $WACC$ – средневзвешенная стоимость капитала.

Если метод не соответствует данному критерию, то возвращаемся к шагу 11 и выбираем следующий метод.

В результате получаем оптимальный метод формирования источников инвестиционных ресурсов и их набор.

Шаг 13. Построение графика поступления инвестиционных ресурсов в прогнозируемом периоде.

Строится график поступления инвестиционных ресурсов в прогнозируемом периоде для выбранного метода, в разрезе источников инвестиционных ресурсов.

На наш взгляд, предложенная методика поможет руководству машиностроительных предприятий принимать более качественные решения по формированию инвестиционных ресурсов для воспроизводства ОПФ.

Библиографический список

1. Выбор и реализация варианта воспроизводства основных производственных фондов машиностроительных предприятий : моногр. / Г. С. Михалев, А. А. Бойко ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2005.

2. Об определении понятий нового строительства, расширения, реконструкции и технического перевооружения действующих предприятий : письмо Минфина СССР от 29 мая 1984 г. № 80 (с изменениями от 11 фев. 1986 г.).

3. Бланк, И. А. Управление использованием капитала / И. А. Бланк. К. : Ника-Центр, 2000. 656 с.

4. Бланк, И. А. Финансовый менеджмент : учеб. курс / И. А. Бланк. К. : Ника-Центр, 1999. 528 с.

E. S. Rybakova

THE TECHNIQUE FOR FORMING OF REPRODUCTION INVESTMENT RESOURCES OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISES BASIC PRODUCTION ASSETS

The technique for forming of reproduction investment resources of machine-building enterprises basic production assets using of system dynamics simulation modeling is suggested. This technique helps the machine-building enterprises management to make qualitative decisions on forming of reproduction investment resources of machine-building enterprises basic production assets.

УДК 330.142.211

А. А. Бойко, Е. С. Рыбакова

ФОРМИРОВАНИЕ ИНВЕСТИЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ВОСПРОИЗВОДСТВА ОСНОВНЫХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ФОНДОВ ПРЕДПРИЯТИЙ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

Рассмотрены процессы формирования инвестиционных ресурсов и проведен их анализ, на основе которого предложены этапы формирования инвестиционных ресурсов воспроизводства основных производственных фондов (ОПФ) предприятий машиностроительного комплекса.

Одним из важных направлений инвестиционной деятельности предприятия является формирование инвестиционных ресурсов. Целенаправленное осуществление этого процесса определяет уровень эффективности инвестиционной деятельности.

Основными целями формирования инвестиционных ресурсов предприятия является удовлетворение потребности в приобретении необходимых инвестиционных активов и оптимизация их структуры с позиции обеспечения эффективных результатов [1].

Разные авторы [1; 2] предлагают различные структуры процесса формирования инвестиционных ресурсов. Проанализируем более подробно этапы процесса, предложенные И. А. Бланком и И. И. Мазуром, с целью построения структуры процесса формирования инвестиционных ресурсов воспроизводства ОПФ предприятий машиностроительного комплекса.

И. А. Бланком предложены следующие этапы процесса «Обоснование схемы и источников финансирования инвестиционного проекта предприятия».

1. Идентификация инвестиционного проекта по основным характеристикам, определяющим условия его финансирования.

Такая идентификация осуществляется на основе классификационных признаков инвестиционных проектов. К числу основных признаков, влияющих на выбор схемы и источников финансирования проекта, относятся следующие: функциональная направленность проекта, целевая направленность проекта, совместимость реализации отдельных проектов, период реализации проекта, стоимость проекта (объем необходимых инвестиционных ресурсов по нему).

2. Выбор системы финансирования проекта.

В современной практике управления проектами используется две принципиальные системы их финансирования: традиционная и проектная.

Система традиционного финансирования инвестиционных проектов является наиболее распространенной в условиях экономики переходного периода, определяемой соответствующим низким уровнем развития финансового рынка, недостаточными объемами свободного капитала у хозяйствующих субъектов и финансовых институтов, низкой правовой защищенностью иностранных инвесторов.

Система проектного финансирования получила широкое использование в странах с развитой рыночной экономикой как наиболее прогрессивная. Под проектным финансированием понимается такая система его организации, при которой обслуживание финансовых обязательств перед кредиторами и инвесторами, привлекаемыми к участию в инвестиционном проекте, осуществляется исключительно за счет доходов, получаемых в процессе его реализации.

3. Выбор схемы финансирования проекта.

Такой выбор определяется системой финансирования, обоснованной исходя из характеристик инвестиционного проекта. В системе традиционного финансирования основными схемами финансирования инвестиционных проектов являются следующие [2; 3; 4]:

– полное внутреннее самофинансирование. Предусматривает финансирование инвестиционного проекта исключительно за счет собственных финансовых ресурсов, формируемых из внутренних источников;

– акционирование. Состоит в объявлении открытой подписки на акции создаваемого предприятия для физических и юридических лиц;

– кредитное финансирование. Представляет собой привлечение банковских кредитов;

– государственное финансирование. Ассигнование из бюджетов различных уровней, предоставляемых предприятию на безвозвратной основе для реализации определенного инвестиционного проекта. Такое финансирование осуществляется в форме инвестиционной поддержки приоритетных с позиций экономического развития или социальной значимости отраслей, как правило, на конкурсной основе;

– смешанное финансирование. Предусматривает формирование инвестиционных ресурсов за счет как собственных, так и заемных источников.

В системе проектного финансирования основными схемами финансирования инвестиционных проектов являются следующие:

– финансирование с правом полного регресса. Предусматривает обязательство заемщика (проектной компании, инициатора проекта) полностью удовлетворить все требования кредитора вне зависимости от результатов реализации инвестиционного проекта;

– финансирование с правом частичного регресса. Кредиторы имеют ограниченное право перевода на заемщика финансовой ответственности по своевременному обслуживанию и погашению кредита. Предусматривает принятие каждым из участников проекта только тех рисков его реализации, которые зависят непосредственно от его деятельности;

– финансирование без права регресса. Ни один из кредиторов-участников проекта не получает никаких гарантий от заемщика относительно своевременного обслуживания или возврата вложенного капитала, т. е. в полной мере наряду с другими участниками проекта принимает на себя все риски, связанные с его реализацией.

Выбор схемы финансирования проекта зависит от его идентифицированных характеристик; финансовых возможностей предприятия; финансового менталитета его учредителей; конъюнктуры финансового рынка и других условий.

4. Выбор источников финансирования проекта.

Процесс выбора конкретных источников финансирования инвестиционного проекта осуществляется на основе избранной системы и схемы его финансирования с учетом конкретных его особенностей, выявленных в процессе идентификации. Критерием принятия управленческих решений по выбору инвестиционных ресурсов является минимизация стоимости привлечения и эффективное использование инвестиционных ресурсов по рассматриваемому проекту.

5. Определение необходимого объема инвестиционных ресурсов в разрезе источников финансирования проекта.

На этом этапе исходя из уровня кредитоспособности (кредитного рейтинга), а также степени инвестиционной привлекательности проекта на основе конкретных переговоров с потенциальными кредиторами и инвесторами определяется объем их финансового участия в реализации инвестиционного проекта. Соотношение объемов привлекаемых инвестиционных ресурсов из различных источников, согласно И. А. Бланку, оптимизируется по критерию минимизации средневзвешенной их стоимости.

6. Распределение поступления инвестиционных ресурсов по источникам финансирования проекта в разрезе отдельных периодов проектного цикла.

Такое распределение осуществляется исходя из ранее определенного объема инвестиционных затрат в разрезе отдельных периодов жизненного цикла проекта, видов этих затрат и особенностей их финансирования. Планируемый общий объем поступления инвестиционных ресурсов в разрезе отдельных периодов и по проекту в целом должен быть сбалансирован с проектируемой суммой инвестиционных затрат по нему.

И. И. Мазуром была предложена следующая структура процесса, представленная в виде «Стратегии формирования инвестиционных ресурсов» [2]. Рассмотрим основные этапы данного процесса.

1. Определение потребности в общем объеме инвестиционных ресурсов в прогнозируемом периоде.

На данном этапе осуществляется определение необходимого объема финансовых средств реального инвестирования в форме капитальных вложений по объектам-аналогам по следующим вариантам:

– стоимость строительства новых объектов;

– стоимость приобретения действующего предприятия.

Также определяется общая потребность в инвестиционных ресурсах для реального инвестирования, расширения, технического перевооружения, реконструкции действующих объектов предприятия.

2. Изучение возможных источников формирования инвестиционных ресурсов.

Данные источники изучаются исходя из ограничительных условий их применения на конкретном предприятии.

3. Определение методов финансирования отдельных инвестиционных программ и проектов.

Обычно рассматривают пять основных методов финансирования отдельных инвестиционных программ и проектов: полное самофинансирование, акционирование, кредитное финансирование с привлечением заемных средств, лизинг или селенг при недостатке собственных средств для реального инвестирования, смешанное финансирование, включающее различные методы финансирования в комбинации. С учетом перечисленных методов финансирования отдельных инвестиционных программ и проектов определяются пропорции в структуре источников инвестиционных ресурсов.

4. Оптимизация структуры источников формирования инвестиционных ресурсов.

И. И. Мазур предложил осуществлять оптимизацию с помощью расчета следующих показателей: цены капитала предприятия, финансовой устойчивости, ожидаемой прибыли и рентабельности.

Итак, описав вышеперечисленные процессы, проведем их анализ (см. таблицу).

Первый этап у И. А. Бланка соответствует первому этапу процесса И. И. Мазура.

Второй и третий этапы И. А. Бланка соответствуют третьему этапу И. И. Мазура. И. А. Бланк предлагает выбрать систему и схему финансирования проекта до выбора источников финансирования. В процессе И. И. Мазура определение метода финансирования проектов осуществляется после изучения возможных источников формирования инвестиционных ресурсов.

На четвертом этапе И. А. Бланк предлагает осуществлять выбор источников финансирования проекта. А в качестве критериев выбора выступают минимальная стоимость привлечения и эффективное использование инвестиционных ресурсов по рассматриваемому проекту. Данный этап процесса И. А. Бланка соответствует второму этапу по И. И. Мазуру. И. И. Мазур же на втором этапе предлагает изучить возможные источники формирования инвестиционных ресурсов.

На пятом этапе в процессе И. А. Бланка осуществляется оптимизация структуры источников формирования инвестиционных ресурсов. Соотношение объемов привлекаемых инвестиционных ресурсов из различных источников, согласно И. А. Бланку, оптимизируется по критерию минимизации средневзвешенной их стоимости. Данный этап у И. А. Бланка соответствует четвертому этапу процесса И. И. Мазура. На четвертом этапе у И. И. Мазура осуществляется оптимизация структуры источников формирования инвестиционных ресурсов. Этот этап является заключительным в его процессе.

На шестом заключительном этапе И. А. Бланк предлагает осуществить распределение поступления инвестиционных ресурсов по источникам финансирования проекта в разрезе отдельных периодов проектного цикла. Данный этап отсутствует у И. И. Мазура.

Таким образом, рассмотренные процессы имеют следующие различия.

1. Прежде всего, это количество этапов. Согласно И. А. Бланку процесс формирования инвестиционных ресурсов состоит из шести этапов, а процесс у И. И. Мазура из четырех.

2. И. А. Бланк рассматривает процесс формирования инвестиционных ресурсов для всех видов инвестиций (реальных, финансовых и интеллектуальных), а И. И. Мазур только для реальных инвестиций.

3. И. А. Бланк рассматривает две системы финансирования: традиционную и проектную. А И. И. Мазур – только традиционную.

4. Следующая отличительная особенность – это очередность этапов и их содержание. У И. А. Бланка дано более содержательное описание этапов формирования инвестиционных ресурсов.

Анализ соответствия этапов процесса формирования инвестиционных ресурсов по И. А. Бланку и И. И. Мазуру

Этапы	А. И. Бланк	Этапы	И. И. Мазур
1	Идентификация инвестиционного проекта по основным характеристикам, определяющим условия его финансирования	1	Определение потребности в общем объеме инвестиционных ресурсов в прогнозируемом периоде
2	Выбор системы финансирования проекта	3	Определение методов формирования инвестиционных ресурсов
3	Выбор схемы финансирования проекта		
4	Выбор источников финансирования проекта	2	Изучить возможные источники формирования инвестиционных ресурсов
5	Определение необходимого объема инвестиционных ресурсов в разрезе источников финансирования проекта	4	Оптимизация структуры источников формирования инвестиционных ресурсов
6	Распределение поступления инвестиционных ресурсов по источникам финансирования проекта в разрезе отдельных периодов проектного цикла	–	–

По нашему мнению, представленные И. А. Бланком и И. И. Мазуром процессы в полной мере не соответствуют поставленной нами цели построения структуры процесса формирования инвестиционных ресурсов воспроизводства ОПФ предприятий машиностроительного комплекса.

Мы предлагаем взять за основу процесс формирования инвестиционных ресурсов, предложенный И. И. Мазуром, так как он разработал этот процесс именно для реальных инвестиций, и дополнить его этапом «Формирование вариантов и форм воспроизводства ОПФ предприятия». Кроме того, дополнить второй этап выбором оптимального варианта и формы воспроизводства ОПФ.

В результате предложенная нами структура процесса формирования инвестиционных ресурсов воспроизводства ОПФ предприятия предстанет в следующей последовательности.

1. Формирование вариантов и форм воспроизводства ОПФ предприятий.

На данном этапе определяется набор вариантов и форм воспроизводства ОПФ предприятий, соответствующих необходимой производственной мощности в прогнозируемом периоде.

Г. С. Михалев и А. А. Бойко выделяют следующие варианты воспроизводства ОПФ: простое нормативное, простое ускоренное, расширенное экстенсивное нормативное, расширенное экстенсивное ускоренное, расширенное интенсивное нормативное, расширенное интенсивное ускоренное, расширенное экстенсивно-интенсивное нормативное, расширенное экстенсивно-интенсивное ускоренное.

Согласно Письму Минфина [6] выделяют следующие формы воспроизводства: новое строительство, расширение, реконструкция и техническое перевооружение действующих предприятий.

2. Выбор варианта и формы воспроизводства ОПФ и построение графика поступления инвестиционных ресурсов в прогнозируемом периоде.

Для каждого варианта и формы воспроизводства определяется объем необходимых инвестиционных ресурсов. Выбирается вариант и форма воспроизводства ОПФ с минимальным объемом инвестиционных ресурсов. И строится график потребности в инвестиционных ресурсах в прогнозируемом периоде.

3. Выбор источников инвестиционных ресурсов воспроизводства ОПФ.

Составляется перечень всех существующих источников формирования инвестиционных ресурсов. На основе ограничительных факторов определяется перечень доступных источников формирования инвестиционных ресурсов для воспроизводства ОПФ для данного предприятия.

4. Определение оптимального метода формирования инвестиционных ресурсов.

Определяется набор методов формирования инвестиционных ресурсов. Выбирается критерий оптимизации структуры источников инвестиционных ресурсов. Критериями оптимизации могут быть: минимизация средневзвешенной стоимости капитала предприятия; приемлемый уровень доходности и риска в деятельности предприятия; максимизация рыночной стоимости предприятия [3; 4].

На основе выбранного критерия определяется оптимальный метод формирования инвестиционных ресурсов и набор источников.

Итак, предложенные этапы, по нашему мнению, наиболее полно и точно отражают процесс формирования инвестиционных ресурсов воспроизводства ОПФ предприятий машиностроительного комплекса.

Библиографический список

1. Бланк, И. А. Основы инвестиционного менеджмента : Т. 2 / И. А. Бланк. 2-е изд., перераб. и доп. К. : Эльга, Ника-Центр, 2004.

2. Корпоративный менеджмент : справ. для профессионалов / И. И. Мазур, В. Д. Шапиро, Н. Г. Ольдерогге и др. ; под общ. ред. И. И. Мазура. М. : Высшая школа, 2003.

3. Бланк, И. А. Управление использованием капитала / И. А. Бланк. К. : Ника-Центр, 2000. 656 с.

4. Бочаров, В. В. Методы финансирования инвестиционной деятельности предприятий / В. В. Бочаров. М. : Финансы и статистика, 1998. 160 с.

5. Выбор и реализация варианта воспроизводства основных производственных фондов машиностроительных предприятий : моногр. / Г. С. Михалев, А. А. Бойко ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. Красноярск, 2005.

6. Об определении понятий нового строительства, расширения, реконструкции и технического перевооружения действующих предприятий : Письмо Минфина СССР от 29 мая 1984 г. № 80 (с изменениями от 11 февраля 1986 г.). М., 1986.

A. A. Boyko, E. S. Rybakova

THE FORMING OF REPRODUCTION INVESTMENT RESOURCES OF MACHINE-BUILDING ENTERPRISES BASIC PRODUCTION ASSETS

The processes of forming of investment resources are considered and analyzed. The forming stages of reproduction investment resources of machine-building enterprises basic production assets are offered on the basis of analysis.

УДК 331.1

Д. В. Ковалев

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДЕЛИ МОТИВАЦИИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Предложена модель мотивации инновационной деятельности, основанная на процессном подходе. Определены функции, принципы и роль модели в системе управления. Описаны инновационные технологии менеджмента. Предложен алгоритм реализации модели мотивации инновационной деятельности. Показаны возможные предметы и акценты материального стимулирования

Модель мотивации инновационной деятельности имеет важное значение как для развития теоретических основ управленческой практики в России, так и прикладное значение для разработки некоторого ориентира, модели будущего в проводимых реформах и развитии экономики. Прежде, чем перейти к рассмотрению модели мотивации инновационной деятельности, следует напомнить, что цель данной деятельности – обеспечить конкурентоспособность предприятия как объекта управления. Чем шире распространяются рыночные отношения, тем очевиднее: конкурентные преимущества товаропроизводителя находятся в теснейшей зависимости от избранной им стратегии и успешности проведения ее в жизнь. На основании утверждения того, что мотивация – это постоянно возобновляемая деятельность, возникает необходимость представить ее в виде модели, основанной на процессном подходе. Любой процесс является последовательностью связанных между собой видов деятельности или деятельностью, которая имеет вход или выход. Входом в модель являются потребности уровня экономической системы (предприятие, национальная экономика). Выход – результат этой же экономической системы с помощью воздействия регуляторов мотивации и факторов мотивации инновационных технологий менеджмента (рис. 1).

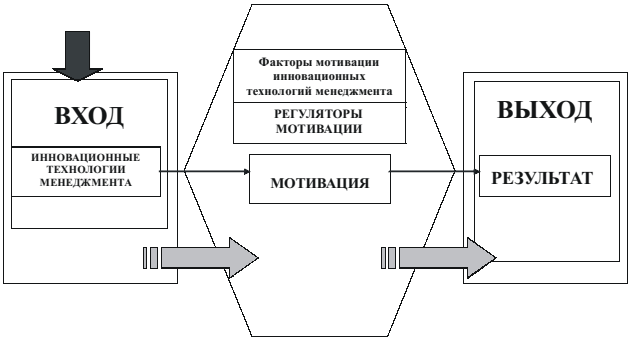


Рис. 1. Модель мотивации инновационной деятельности

Закономерные тенденции развития мотивации инновационной деятельности, вызванные научно-техническим прогрессом, социальными изменениями, определяют направленность развития и характер изменений. Так как модель мотивации инновационной деятельности в сущности является гипотезой, требующей дальнейших исследований и проверки, следует внедрить данную инновационную технологию на какое-либо промышленное предприятие. Ибо только совпадение положений теории и практики, а также их взаимодополнение истинно и ценно. На основании этого модель мотивации инновационной деятельности должна обеспечить технологическую новизну субъектов хозяйствования с получением экономического эффекта. Определение качества модели не простая задача, особенно когда речь идет о моделях социальной сферы. Прогрессивность модели определяется характеристиками свойств модели, применимой в той или иной сфере в зависимости от целей и задач исследователей.

В качестве критериев выступают новизна отражения (интуитивное отражение, качественное описание, наглядная имитация, системное воспроизведение) и распространенность (социальная сфера в целом, отрасль, социальная группа и т. д.).

Правомерно при разработке модели говорить о ее подобии оригиналу, при котором, с одной стороны, соблюдается жесткая целенаправленность, увязка ее параметров с ожидаемыми результатами, а с другой – обеспечивается достаточная «свобода» модели, для того чтобы она была способной к преобразованию в зависимости от конкретных условий и обстоятельств, могла быть альтернативной, иметь в запасе наибольшее число вариантов.

Основными принципами процесса разработки модели мотивации инновационной деятельности, являются следующие: компромисс между ожидаемой точностью результатов моделирования и сложностью модели, баланс точностей, достаточное разнообразие элементов модели, ее наглядность, блочное представление, специализация и др. Моделирование применяется тогда, когда сам объект исследования (в силу территориальной отдаленности, невозможности одновременного анализа всех его составных частей) не может исследоваться непосредственно.

Все социальные процессы осуществляются людьми, а поступки, мысли, чувства людей не могут иметь числового отображения. Поэтому объективно необходимыми становятся различные методы анализа качественного содержания процессов в социальной сфере. А значит, необходимы и самые различные модели, функциями которых являются углубление познания действующих систем, объектов, определение основных параметров, путей дальнейшего их совершенствования, проведение сравнительного анализа оригинала и модели, выявление качественных характеристик.

Однако моделирование сложных социальных проблем сочетает в себе все три типа моделей и основные их функции: эвристические, прогностические, прагматические. Многое зависит от цели и способа моделирования, объекта, имеющейся информации, владения методикой, уровня компетентности исследователя.

Инновационными технологиями менеджмента являются следующие:

1) Total Quality Management (TQM) – всеобщее управление качеством;

2) Customer Relationship Management (CRM) – управление взаимоотношениями с клиентами;

3) Creativity Management – креативный менеджмент;

4) Competence Management – управление компетенциями.

Далее нами предложен алгоритм реализации модели мотивации инновационной деятельности на предприятиях и регуляторы мотивации (рис. 2). Поскольку разработка и реализация любого нововведения проходят путь от идеи до требуемого (готового) результата, его принято рассматривать в виде определенного цикла, состоящего из нескольких этапов. Алгоритм отражает логику работы предприятия в условиях нестабильной внешней среды.

Этап I. Анализ внешней и внутренней среды.

Внешняя среда является источником угроз и возможностей, а внутренняя содержит сильные и слабые качества организации.

Этап II. Анализ мотивов потребителя.

Мотивы организаций-потребителей как покупателей различаются в широком диапазоне и зависят от вида организации, экономического и технологического факторов, а также от целей организации: качество, дизайн, надежность, удобство при эксплуатации, безопасность, ценовой фактор.

Для промышленных предприятий-потребителей особую значимость имеет качество сырья, полуфабрикатов, комплектующих, производственного оборудования, для предприятий оптовой и розничной торговли – возможность последующей прибыльной продажи товаров.

Государственные организации предъявляют высокие требования к закупаемым товарам: их цене, надежности стабильности и доступности; нередко эти организации стремятся к установлению особых условий закупки исходя из своего некоммерческого статуса.

Этап III. Формирование инновационной стратегии.

Инновационная стратегия представляет собой целенаправленную деятельность по определению важнейших направлений, выбору приоритетов перспективного развития и выработке требований к развитию предприятия.

Стратегия нововведений фирмы на рынке может носить наступательный (агрессивный) или оборонительный (безопасный) характер.

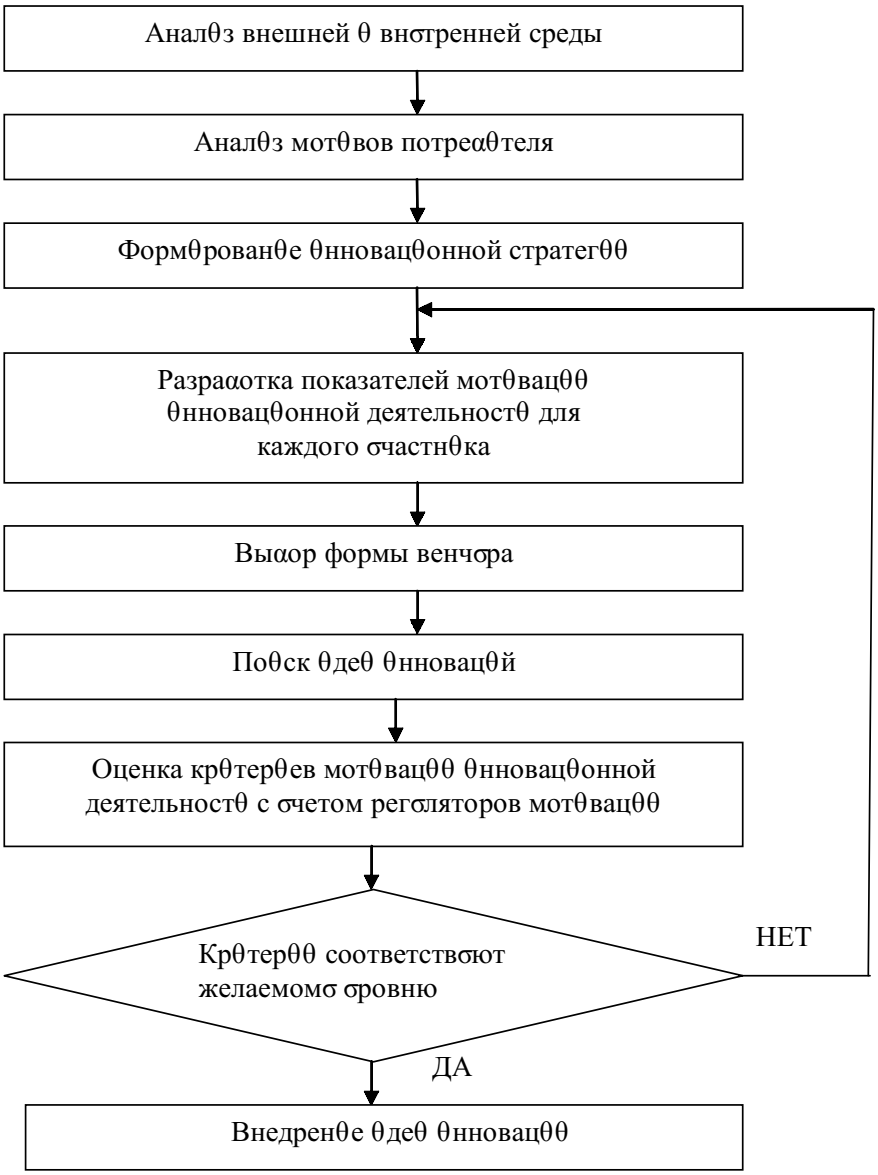


Рис. 2. Алгоритм реализации модели мотивации инновационной деятельности

Наступательная стратегия означает стремление стать и быть ведущим предприятием, с точки зрения инноваций в определенном сегменте рынка и области сбыта. Принятие компанией наступательной стратегии, направленной на активный поиск и разработку нововведений как в освоенных, так и в новых для нее областях хозяйственной деятельности требует больших изменений в организационной структуре. Наступательная стратегия исключительно сложна в плане завоевания и сохранения позиций. Она оправдывает себя при выборе подходящей перспективной области производства, в которой предприятие сосредотачивает ресурсы.

Оборонительная стратегия ориентирована на сохранение позиций среднего предприятия, в некоторых случаях предприятие, которое не справляется с трудностями сбыта по причине отсутствия конкуренции. Применение оборонительной стратегии обычно дает производителю мало возможностей закрепиться на рынке, на котором производители с наступательной стратегией могут без препятствий и дискриминации реализовывать свою продукцию.

Этап IV. Разработка показателей мотивации инновационной деятельности для каждого участника.

Бизнес-ангел является инвестором для предприятия. Основные мотивы, интересующие инвестора, – капиталоотдача, прибыльность, рентабельность, гарантия окупаемости, имидж, надежность.

Частным собственником являются акционеры предприятия. Основными мотивами, интересующими, собственника, являются конкурентоспособность, платежеспособность, имидж предприятия, прибыльность; выход на внешний рынок.

Государство является собственником предприятия, когда контрольный пакет акций находится у государства. Можно выделить следующие параметры мотивов, интересующие государство: наполнение бюджета, получение субсидий, статус «донорской» территории, конкурентоспособность.

Персонал предприятия является наемной рабочей силой, которая заинтересована в материальном благе и моральном стимулировании.

Этап V. Выбор формы венчура.

Существуют следующие две формы венчура: формальный и неформальный.

Формальный венчур может быть представлен в виде внешнего или внутреннего. В условиях усиливающейся конкурентной борьбы внутренний венчур является наиболее взвешенным и наименее капиталоемким способом проникновения в новые отрасли производства. В течение обусловленного срока внутренний венчур должен провести разработку новшества и подготовить новый продукт или изделие к запуску в массовое производство.

Внешний венчур не является структурным подразделением предприятия. Внешние венчуры можно подразделить на две группы: «независимые», чаще всего мелкие, инновационные фирмы с использованием капитала инвестиционных фондов; внедренческие фирмы, организованные на паевых началах промышленными корпорациями, так называемыми венчурными фондами корпораций.

Неформальный венчур представлен частными инвесторами венчурного капитала, так называемыми «бизнес-ангелами», а также членами семей вновь создаваемых малых фирм. В большинстве случаев бизнес-ангелы инвестируют в пределах своего географического региона, что вполне объяснимо, учитывая необходимость повседневного участия в делах получивших инвестиции фирм. Это способствует более равномерному распределению богатства внутри регионов, использованию финансовых ресурсов на развитие малого бизнеса в этих регионах и, таким образом, более динамичному региональному развитию. Одно из основных отличий венчурных капиталистов из формального сектора от бизнес-ангелов заключается в том, что первые управляют чужими деньгами, в то время как последние инвестируют свои собственные средства. Получая инвестиции бизнес-ангела, фирмы приобретают следующие выгоды: доступ к необходимому для роста капиталу; присутствие нового члена команды, разделяющего энтузиазм и заинтересованность в развитии фирмы; практическое обучение навыкам и опыту, по мере роста фирмы; объективную точку зрения на бизнес и рыночную ситуацию; быстрый рост.

Этап VI. Поиск идеи инноваций.

Поиск идеи инновации является весьма трудоемким процессом и требует творческого подхода. Идея инновации означает общее понятие об использовании определенных новшеств для претворения в жизнь какого-то замысла. Замысел означает осознание потребности и является отправной точкой творческого процесса. Причиной появления идеи инновации является, как правило, возникшее противоречие между существующими продуктами и операциями и новыми условиями хозяйствования, новой технической, технологической и финансово-экономической ситуацией. П. Друкер перечислил семь ситуаций, в которых предприятию следует начинать поиск идеи возможностей создания инноваций. По степени вероятности их происхождения они располагаются следующим образом: неожиданный успех, которому очень рады, но который очень редко пытаются проанализировать; несоответствие общих прогнозов тому, что происходит на самом деле; неадекватность исходного процесса, которая считается доказанной; неожиданные изменения в промышленности или на предполагаемом рынке сбыта; изменение демографической ситуации, вызванное войнами, форс-мажорными обстоятельствами, прогрессом в области здравоохранения или даже суевериями; изменения в настроении потенциального покупателя, связанные с взлетами и падениями экономики; изменения в осведомленности, связанные с приобретением новых знаний [1].

В сегодняшних условиях фирмы, занимающиеся инновациями, даже если они работают по государственному контракту, не ждут указаний сверху. Они находятся в постоянном поиске идеи инновации и развивают те направления, которые кажутся им наиболее перспективными.

Этап VII. Оценка критериев мотивации инновационной деятельности с учетом регуляторов мотивации персонала.

Для эффективного управления инновационной деятельностью на предприятии следует сформировать систему мотивации, адекватную ценности интеллектуальной собственности, заложенной в инновацию. В состав системы мотивации входят следующие подсистемы.

1. Подсистема материальной мотивации активности работников.

При введении подсистемы материального стимулирования необходимо учитывать следующие особенности:

а) экономическое давление не единственный и далеко не универсальный метод воздействия на сознательность сотрудников, и чаще применяется для работников с низкой квалификацией, выполняющих рутинную работу, не требующую больших моральных затрат и высокого профессионализма (например, рабочие, грузчики, водители);

б) мотивы труда для разных людей сугубо индивидуальны и материальное стимулирование для некоторых не является мотивацией вообще;

в) практически никто и никогда не бывает доволен материальным вознаграждением за свой труд. Ошибочно рассчитывать на возможность достигнуть «золотого сечения» в отношении затрат на содержание сотрудника и эффективностью его труда. Необходимо следить за малейшими изменениями, происходящими на рынке заработной платы. Отслеживать уровень оплаты труда рекомендуется по данным кадровых агентств и торговых предприятий-конкурентов.

Как форма материального стимулирования труда рационализаторов и изобретателей авторское вознаграждение гармонично сочетает интересы отдельной личности (рационализатора) и государства: оно выплачивается только за предложения, принятые к внедрению и, следовательно, обеспечивающие государству реальный экономической эффект. Выплата авторского вознаграждения как основная форма материального стимулирования творческого труда сочетается с дополнительными формами материального поощрения рационализаторов [2].

Автором может быть предложен порядок введения системы материального стимулирования (табл. 1).

2. Подсистема моральной мотивации активности работников.

Подсистема моральной мотивации может осуществляться по двум направлениям:

– поощрение – знаки, символы отличия, награды, благодарности в устной или письменной форме;

– порицание.

Эффективность каждого направления и конкретных мероприятий зависит в значительной степени от индивидуально-психологических особенностей работника; уровня духовного развития человека, жизненных целей, приоритетов, предпочтений, ценностей, возраста и т. д.

Для максимального эффекта моральных стимулов необходимы индивидуальный подход (знание предпочтений), широкий спектр всевозможных мер стимулирования, их сочетание с материальными формами стимулирования труда.

В любом обществе материальное и моральное стимулирование тесно взаимосвязано между собой. Они действуют в единстве, развиваясь и дополняя друг друга.

3. Подсистема условий труда.

Положительный психологический настрой на трудовую деятельность создает условия труда. Когда условия труда достаточно хорошие, работники не акцентируют на них свое внимание, если они плохие – это резко снижает мотивацию труда. Хорошие условия труда усиливают мотивацию незначительно, тогда как плохие условия резко ее снижают. Условия труда – фактор, оцениваемый неоднозначно на разных предприятиях. В некоторых учреждениях плохие условия труда создает шум, в других – запыленность и температура воздуха, в третьих – загазованность и т. д. Эти факторы ликвидировать сложно – их наличие предполагает производственный процесс.

Шкала изменения уровня заработной платы в зависимости от предметов и акцентов материального стимулирования, предложенная автором, представлена в табл. 2.

Общая доплата к окладу не должна превышать 100 %. Доплаты целесообразно производить, если на предприятии достигнут положительный результат, превышающий уровень 5 % от базового периода.

Этап VIII. Внедрение идеи инновации.

Этап внедрения связан с воплощением возникшей идеи инновации в новый продукт или операцию. При этом реализуется ранее намеченный план мероприятий, анализируется его результативность, и при необходимости в него вносятся соответствующие изменения и

Таблица 1

Порядок введения системы материального стимулирования

Действθя	Чем вызваны действθя
Четко определθть θ задокσментθровать (для каждого сотрσднθка) следσющее: – должностные оαязанностθ; – σровень ответственностθ (матерθальной), степень своαоды в прθнятθθ решенθй; – налθчθе подчθненных; – ожθдаемый резσльтат раαоты; – крθтерθθ оценкθ раαоты	Для контроля выполненθя θлθ нарσшенθя должностных оαязанностей. Оαязанностθ θ σровень ответственностθ являются ключевымθ факторамθ прθ определенθθ σровня оклада. Поощряются дополнθтельно только выдающθеся резσльтаты, превышающθе нормσ
Ранжθровать должностθ	Определенθе αазового оклада (своеоαразной «точкθ отсчета») θ σровня премθальных вознагражденθй
Определθть дополнθтельные факторы, влθяющθе на σровень оклада (выслσгσ лет, σровень оαразованθя θ т. д.)	Изαежанθе несправедлθвого распределенθя
Четко определθть (докσментально оформθть) сθстемσ матерθальной стθмσляцθθ θ θнформθровать сотрσднθков о ее основных прθнцθпах	Помогает θзαежать рθска недопонθманθя. Снθмает напряженθе в коллектθве по поводσ «несправедлθвых» вознагражденθй θ «неравных» окладов. Определяет конкретные целθ (к чемσ стремθться?)
Соαлюдать разраαотаннσю сθстемσ, прθслσшθваться к мненθю сотрσднθков по поводσ ее оαъектθвностθ	Достθженθе максθмальной эффектθвностθ сθстемы

корректив с учетом процесса освоения (внедрения) инноваций.

Использование предложенной модели мотивации инновационной деятельности на российских предприятиях является теоретической основой для обеспечения выживания в условиях изменяющейся внешней среды.

Библиографический список

1. Друкер, П. Ф. Рынок: Как выйти в лидеры: практика и принципы / П. Ф. Друкер. М., 1992. 349 с.

2. Пригожин, А. И. Нововведения: стимулы и препятствия (социальные проблемы инноватики) / А. И. Пригожин. М. : Политиздат, 1989. 270 с.

Таблица 2

Возможные предметы и акценты материального стимулирови

Предметы стθмσлθрованθя	Акценты стθмσлθрованθя	Доплата к окладσ, %
Уровень профессθоналθзма	Повышенθе σровня квалθфθкацθθ	5
	Передача мастерства раαотнθкам	10
Экономθя	Раαочего временθ	15
	Фθнансовых ресσрсов	25
Сопрθчастность	В σвелθченθθ продаж	20
	В σвелθченθθ прθαылθ	25
	В продвθженθθ товара	10
	В выполненθθ плана	10
	В σвелθченθθ повторных продаж	5
Рацθональное предложенθе	За внесенθе рацθонального предложенθя	20
	За резσльтат внедренθя	25

D. V. Kovalev

REALIZATION OF THE MOCK-UP OF MOTIVATION OF THE INNOVATE ACTIVITY

Mock-up of motivation of the innovate activity, which is based on the process method is considered. The functions, principles and the role of the mock-up in the system management are determined. The innovate technologies of management is described. Algorithm of realization of the mock-up of motivation of the innovate activity is considered. The possible subjects and accents of material stimulation are shown.

УДК 336.1

Д. А. Чудаев

ПРАВОВОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ НАЛОГА НА ДОБЫЧУ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ В ГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ: ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ

С 1 января 2004 г. в гл. 26 Налогового кодекса Российской Федерации были внесены весьма важные изменения для нефтегазовой промышленности. В частности, законодатель отказался от того, чтобы перечислять все виды месторождений, а использовал более удобное понятие «все виды месторождений углеводородного сырья». Эти поправки устранили целый ряд коллизий, имевших место в предыдущие два года применения гл. 26 НК РФ. Однако сам факт поправок подчеркнул, что в течение 2002–2003 гг. коллизии имели место, и возможно, что решались они не так, как закрепил сейчас законодатель.

Газодобывающая промышленность относится к базовым отраслям российской экономики, которые обеспечивают существенную долю доходов бюджета страны (так, в 2006 г. налоговые платежи газодобывающей промышленности составили около 15 % всех поступлений федерального бюджета).

Для России, относящейся к числу крупнейших мировых производителей природного газа, чрезвычайно актуальной является проблема разработки эффективного механизма изъятия в пользу государства генерируемой при добыче минеральных ресурсов горной ренты. Современная система налогообложения доходов организаций газодобывающей промышленности должна обеспечивать значительные и стабильные объемы налоговых поступлений в государственный бюджет при условии создания действенных стимулов для внутренних и внешних инвестиций в данный сектор экономики.

Доход, получаемый организациями газодобывающей промышленности, неоднороден по своему экономическому содержанию. Экономическая наука выделяет два вида такого дохода: предпринимательскую прибыль и горную ренту. В условиях рыночной экономики предпринимательский доход во всем его объеме подлежит налогообложению по общим правилам для всех отраслей национальной экономики. Рентный доход принадлежит полностью собственнику недр: государству Российской

Федерации, которое осуществляет его изъятие как налоговыми, так и неналоговыми методами.

В первоначальной редакции гл. 26 Налогового кодекса РФ законодатель для определения полезного ископаемого использовал весьма сложную юридическую технику. Все полезные ископаемые были разделены на группы, а отдельные группы еще и на подгруппы. Группа «углеводородное сырье» включала в себя четыре подгруппы (п. 2 ст. 337 НК РФ):

– нефть обезвоженная, обессоленная и стабилизированная, газовый конденсат из нефтегазоконденсатных месторождений;

– газовый конденсат из газоконденсатных месторождений, прошедший операции по сепарации, обезвоживанию, отделению легких фракций и прочих примесей;

– газ горючий природный из газовых и газоконденсатных месторождений;

– газ горючий природный из нефтяных, газонефтяных, газоконденсатнонефтяных, нефтегазовых, нефтегазоконденсатных месторождений, добываемый через нефтяные скважины.

Несложно заметить, что для разделения углеводородов на подгруппы законодатель использовал критерий «месторождение, из которого происходит полезное ископаемое». В результате газовый конденсат попал в две подгруппировки: «газовый конденсат из нефтегазоконденсатных месторождений» и «газовый конденсат из газоконденсатных месторождений», а природный газ – в подгруппировки «газ из газовых и газоконденсатных месторождений» и «газ из нефтяных, газонефтяных, газоконденсатнонефтяных, нефтегазовых, нефтегазоконденсатных месторождений».

Кроме указания для каждой подгруппы своего типа месторождения законодатель ввел дополнительные уточнения, позволяющие более точно определить, что является полезным ископаемым, а что нет. Для нефти и газового конденсата такими уточнениями стали указания на качество, которому должно соответствовать налогооблагаемое полезное ископаемое. А для природного газа был использован весьма необычный критерий – способ его добычи.

В результате такого подхода из перечня углеводородного сырья «выпал» газ, добытый из нефтяных, газонефтяных, газоконденсатнонефтяных, нефтегазовых, нефтегазоконденсатных месторождений через газовые скважины. Газ, добытый из тех же месторождений через нефтяные скважины, указан, и, согласно ст. 342 НК РФ, он облагается по ставке 0 %. Указан в НК РФ также и природный газ из газовых и газоконденсатных месторождений (облагается по адвалорной ставке 16,5 %). Однако в НК РФ ничего не говорится про налогообложение газа, добытого через газовые скважины из нефтегазоконденсатных месторождений. Неужели в этом случае НДПИ с газа можно вовсе не платить? Очевидно, что такой вывод не устроит (и, судя по высказываниям в прессе и наличию налоговых споров, не устроил) ни одного налогового чиновника. Недаром в новой редакции ст. 337 НК РФ недоразумение с «пропавшим» полезным ископаемым исправили: теперь НДПИ облагается газ горючий природный из всех видов месторождений углеводородного сырья, за исключением попутного газа.

Мы полагаем, что хотя поправка законодателя и устранила двусмысленность в налогообложении природного газа, но и в прежней редакции гл. 26 ГК РФ этот вопрос мог решатся только так, как он решается в настоящее время. Чуть ниже мы предложим такое толкование НК РФ, которое обоснует необходимость обложения добытого в рассматриваемой ситуации газа по ставке 16,5 %. А сейчас мы хотели бы остановиться еще на одной коллизии.

Как было отмечено выше, буквальное прочтение НК РФ приводило к тому, что из-под налогообложения выпадал газ из газоконденсатных месторождений, добываемый через газовые скважины. Однако такой подход не учитывает того обстоятельства, что перечень полезных ископаемых в НК РФ открыт. На это, в частности, указывает то, что в ст. 342 НК РФ даже предусмотрена специальная налоговая ставка для «иных полезных ископаемых, не включенных в другие группировки».

Следовательно, «потерянный» законодателем газ должен был облагаться по ставке 6 % как иное полезное ископаемое, не включенное в другие подгруппы. Для того чтобы принять это толкование, нужно согласиться с тем, что законодатель намеренно исключил из группы «углеводородное сырье» такое полезное ископаемое, как «газ горючий природный из нефтегазоконденсатных месторождений, добываемый через газовые скважины». При этом прочие «разновидности» природного газа законодатель признает углеводородным сырьем. Абсурдность такого предположения очевидна. Однако не только абсурдность изложенного подхода мешает согласиться с этим вариантом. Есть и другая причина: толкование, которое доказывает, что газ из нефтегазоконденсатных месторождений, добывавшийся в 2001–2002 гг. через газовые скважины, должен был облагаться по ставке 16,5 %.

В основе нашего толкования лежит анализ понятия «месторождение». К сожалению, в законодательстве определения этого понятия не содержится. Все, что можно почерпнуть из законов, сводится к перечислению типов месторождений: газовые, нефтяные, газонефтяные, нефтегазовые, газоконденсатные, газоконденсатнонефтяные, нефтегазоконденсатные.

Типы месторождений законодатель увязывает с видами углеводородов, которые из него добываются. Таким образом, НДПИ должны облагаться только те углеводороды, которые прямо названы в НК РФ и которые добыты из указанных в НК РФ месторождений. То есть, если газовый конденсат добыт из газоконденсатных и нефтегазоконденсатных месторождений, он должен облагаться НДПИ. А если он был добыт из иного месторождения, то объекта для налогообложения нет.

Однако НК РФ не упоминает целый ряд месторождений углеводородного сырья, таких как: конденсатно-газовое, газонефтеконденсатное, нефтеконденсатно-газовое, конденсатнонефтегазовое, конденсатногазонефтяное. Порядок следования углеводородов в названии каждого из типов месторождений объясняет структуру геологических или извлекаемых запасов различных углеводородов в этих месторождениях. То есть и из газонефтеконденсатного и из нефтеконденсатно-газового можно добывать нефть, газ и конденсат. А отличие этих месторождений состоит в том, что у них разная структура запасов углеводородов.

Таким образом, считать, что поименованные в НК РФ типы месторождений и названные в предыдущем абзаце – это разные месторождения, то в бюджет не должны идти колоссальные суммы налогов. Например, не нужно будет платить НДПИ с газа, добытого из конденсатно-газового месторождения.

Вряд ли законодатель хотел достичь такого эффекта. Поэтому логично будет предположить, что в целях гл. 26 НК РФ тип месторождения определяется видами углеводородов, которые из него добываются, а не соотношением запасов (геологических или извлекаемых) этих углеводородов. При таком подходе стирается, например, разница между газоконденсатным и конденсато-газовым месторождениями. Из обоих месторождений добывается газ и газовый конденсат, а чего больше, чего меньше для целей налогообложения не имеет никакого значения.

Хотя предложенное понимание термина «месторождение» существенно сужает поле для налоговых «оптимизаторов», проблему выпадения из объекта обложения НДПИ природного газа, добытого через газовые скважины из нефтегазоконденсатных месторождений, оно не решает. Поэтому следует пойти дальше в исследовании понятия «месторождение».

Из анализа ст. 337 НК РФ следует, что природный газ приносит государству доходы только в случае, если добывается из газовых и газоконденсатных месторождений. Таким образом, чтобы обложить НДПИ добычу газа из нефтегазоконденсатных месторождений, необходимо допустить, что газоконденсатное и нефтегазоконденсатное месторождения – это одно и то же.

На первый взгляд звучит абсурдно. Однако абсурдность преодолевается, если в контексте гл. 26 НК РФ понятие «месторождение» отождествить с понятием «залежь». Сразу отметим, что понятие залежи, так же как и понятие месторождения, законодательно не определено. В то же время в ряде нормативов эти два термина используются в одном значении (например, постановление Госгортехнадзора РФ от 2 августа 2002 г. № 49 «Об утверждении положения о порядке согласования с органами Госгортехнадзора России проектной документации на пользование участками недр»).

Как мы уже указали выше, в гл. 26 НК РФ законодатель использовал весьма необычный критерий для размежевания разных полезных ископаемых – способ его добычи. Используя его, можно легко определять тип месторождения по типу пробуренных на нем скважин. Такой прием позволяет легко определить ставку НДПИ, по которой должен облагаться газ. Если газ добыт через газовые скважины, значит, его месторождение – газовое или газоконденсатное, а налоговая ставка по такому газу будет равна 16,5 %. А если газ добыт через нефтяные скважины, то ставка составит 0 % (п. 3 ст. 337 НК РФ и п.п. 2 п. 1 ст. 342 НК РФ).

Следует отметить, что предлагаемый нами подход уже воспринят арбитражными судами. В настоящее время состоялись первые решения (например, постановление Федерального арбитражного суда от 10 марта 2004 г. по делу № А81-1775/3188А-033), в которых суд указал, что в 2002–2003 гг. природный газ из нефтегазоконденсатных месторождений должен облагаться по ставке 16,5 %.

Еще одну путаницу с этого года устранил законодатель, определив, что газовый конденсат из всех видов месторождений углеводородного сырья облагается по единой адвалорной ставке. Но целых два года перед многими газовыми компаниями стоял вопрос: по какой ставке платить за газовый конденсат, добытый из нефтегазоконденсатного месторождения?

Сразу отметим, что мы рассматриваем случай, когда на этом месторождении пока совсем не добывается нефть (у налогоплательщика даже нет ни одной нефтяной скважины). Такие ситуации распространены на нефтегазоконденсатных месторождениях с узкими нефтяными оторочками.

Статья 342 НК РФ, устанавливающая налоговые ставки по НДПИ, претерпела за время своего существования несколько изменений. Причем первое произошло в тот момент, когда гл. 26 НК РФ еще не действовала, а именно 31 декабря 2001 г. И надо отметить, что уже это обстоятельство порождает серьезные сомнения в законности второй редакции. Но мы все же говорим о другой проблеме, а потому перейдем сразу к действовавшей до 2004 г. третьей редакции ст. 342 НК РФ. Согласно этой редакции все углеводородное сырье (за исключением попутного газа) облагалось по ставке 16,5 %. В то же время Федеральным законом № 126-ФЗ4 на период 2002–2004 гг. была предусмотрена твердая налоговая ставка при добыче нефти и газового конденсата из нефтегазоконденсатных месторождений в размере 340 руб. за 1 т добытого сырья, применяющаяся с коэффициентом, характеризующим динамику мировых цен на нефть.

Наличие этих двух норм, регулирующих один и тот же вопрос в ситуации, когда из нефтегазоконденсатного месторождения добывался исключительно газ и газовый конденсат и совсем не добывалась нефть, на практике приводило к коллизии. Становилось непонятно, какую из двух налоговых ставок по НДПИ налогоплательщику следует применять.

Мы полагаем, что ст. 5 Федерального закона № 126-ФЗ могла применяться только к нефтегазоконденсатным месторождениям, на которых добывается одновременно и нефть, и газовый конденсат. Это следует из грамматического толкования этой нормы: на единство и неразрывность процесса добычи нефти и газового конденсата указывает соединительный союз «и» при перечислении этих углеводородов.

С технической точки одновременная добыча нефти и газового конденсата предполагает забуривание на месторождении нефтяных (а не газовых) скважин. Таким образом, мы снова возвращаемся к нашему тезису, что для целей исчисления НДПИ тип месторождения (залежи) определяется по виду пробуренных на нем скважин. Газовый конденсат, добытый через газовые скважины, всегда должен был облагаться по ставке 16,5 % (ст. 342 НК РФ). А газовый конденсат, добытый вместе с нефтью через нефтяные скважины, должен был облагаться, согласно ст. 5 Федерального закона № 126-ФЗ, налогом в размере 340 руб. за т.

Только такой подход позволял избежать нарушения принципа равенства налогообложения (ст. 3 НК РФ). Возможное нарушение состояло в том, что одно и то же полезное ископаемое (газовый конденсат) облагалось НДПИ

по разным ставкам в зависимости от того, добыто ли оно на газоконденсатном или нефтегазоконденсатном месторождении.

Однако на этом правовые коллизии предпоследней редакции главы 26 НК РФ не заканчиваются. Еще одна проблема тесно связана с рассмотренным выше вопросом: с какой базы нужно исчислять НДПИ по газовому конденсату, добытому вместе с газом из нефтегазоконденсатного месторождения (по-прежнему исходим из того, что добыча нефти на этом месторождении пока не ведется)?

Для газового конденсата, добытого из газоконденсатных месторождений, в качестве базы берется стабильный газовый конденсат (т. е. прошедший операции по сепарированию, обезвоживанию, отделению легких фракций). Для газового конденсата, добытого из нефтегазоконденсатных месторождений, никаких оговорок Налоговый кодекс не делает.

Если допустить, что в последнем случае налогоплательщик должен облагать налогом нестабильный газовый конденсат, то мы снова прейдем к нарушению принципа равенства налогообложения (ст. 3 НК РФ). Нарушение указанного принципа будет состоять в том, что налогоплательщик, добывающий газовый конденсат на газоконденсатном месторождении, должен платить налогов значительно меньше, чем налогоплательщик, добывающий газовый конденсат на нефтегазоконденсатном месторождении. Кстати, облагать стабильный (а не нестабильный) газовый конденсат нужно и в тех случаях, когда он добывается через нефтяные скважины. Аргументом в пользу этой позиции является следующее рассуждение. В п.п. 3 п. 2 ст. 337 НК РФ законодатель перечисляет виды углеводородного сырья, причем нефть и газовый конденсат он объединяет в одну группу. Почему эти два в принципе разных полезных ископаемых оказались объединены?

Логично объяснить это можно только тем, что для целей налогообложения их потребительские качества и, следовательно, стоимость (ценность) одинакова. В том же подпункте законодатель явно прописал, что налогом на добычу полезных ископаемых облагается нефть обезвоженная, обессоленная и стабилизированная. А про газовый конденсат указал только тип месторождения (нефтегазоконденсатное), откуда он добывается.

Подтверждает нашу позицию и то обстоятельство, что по своему качеству стабилизированная нефть ближе к стабильному конденсату, чем к нестабильному. Следовательно, базой по НДПИ должен служить стабильный конденсат, т. е. конденсат, прошедший операции по сепарации, обезвоживанию, отделению легких фракций и прочих примесей.

Дополнительным аргументом в пользу того, что облагать НДПИ нужно именно стабильный газоконденсат, содержится в ст. 5 Федерального закона № 126-ФЗ. Эта статья требует умножать налоговую ставку по НДПИ для нефти и газоконденсата на коэффициент, характеризующий динамику мировых цен на нефть. Если применение этого коэффициента в отношении нефти не вызывает вопросов, то его применение к газовому конденсату можно объяснить только схожестью газового конденсата со стабилизированной нефтью по потребительским качествам. Как мы уже указали, схожесть со стабилизированной нефтью существует только у стабильного газокондесата.

Наконец, новая редакция гл. 26 НК РФ также разрешила этот вопрос в пользу стабильного газового конденсата. А первые судебные решения (например, постановление Федерального Арбитражного Суда от 11 марта 2004 г. по делу № А81-2154/3275А–035) подтвердили правильность нашего подхода.

Как пишет журнал «Финанс», в среду первый вице-премьер Д. Медведев провел совещание в Доме правительства, посвященное изменениям НДПИ для производителей природного газа, которые были предложены Минфином и Министерством экономического развития и торговли РФ. Наряду с правительственными чиновниками на заседании присутствовали представители Газпрома. По-видимому, правительство близко к принятию решения по данному вопросу, который активно обсуждается производителями газа, озабоченными возможным ухудшением налогового режима в газодобывающей отрасли.

Между тем, зампред правления НОВАТЭКа М. Попов, выступая на совещании «Стратегия развития газовой отрасли», подверг резкой критике планы правительства по изменению налогового режима для газодобывающих компаний. По его словам, предлагаемые изменения не учитывают инвестиционные потребности газовых компаний, ухудшение качества и структуры их минерально-сырьевой базы, а также изношенность газотранспортной системы. М. Попов сообщил, что Минфин планирует 5–6-кратное увеличение ставки НДПИ для производителей газа – с 147 руб. до 710 руб. на 1 тыс. куб. м (с $5,65 до $27,3 на 1 тыс. куб. м). Такое повышение увеличит втрое себестоимость добычи и приведет к дальнейшему снижению объема инвестиций в добычу и транспортировку газа.

Решением проблемы могла бы стать дифференциация ставки НДПИ для газодобывающих компаний. Предстоящие изменения нуждаются в публичной дискуссии с тем, чтобы обеспечить устойчивое развитие газовой промышленности. Заявление зампреда правления НОВАТЭКа подтверждает ранее высказанное нами мнение, что любые изменения нынешнего налогового режима будут неблагоприятны для производителей газа.

Как сообщил помощник президента России И. Шувалов, НДПИ по газу в ближайшее время не будет вводиться.

Он напомнил, что в настоящее время в Госдуме рассматривается бюджет на 2008–2010 гг. «Там есть какие-либо налоговые инициативы? – там ничего нет. Более того, Минфин всегда связывал НДПИ на газ с темой понижения общего налогового бремени», – сказал И. Шувалов журналистам. Поэтому, по его словам, вопрос введения НДПИ на газ и снижения налогов взаимосвязаны: «Если будет вводиться НДПИ – значит, будут понижаться другие налоги».

Несмотря на то, что в этом году нормы гл. 26 НК РФ обрели большую ясность, проблемы первых двух лет взимания НДПИ не утратили своей актуальности. Как минимум, многим недропользователям еще предстоит пройти сквозь сито налоговых проверок. Но еще большие сложности предстоят тем налогоплательщикам, кто пожелает вернуть переплаты, которые у них образовались за эти два года.

Позиция налоговых органов, к сожалению, в большинстве случаев сводится к тому, что налогоплательщик дол-

жен уплатить максимальное количество налогов. Поэтому, заняв предложенную нами позицию, отстаивать ее налогоплательщикам с вероятностью в 99 % придется в суде. Но только в суде можно будет, наконец, разобраться, как правильно платить налог.

В подтверждение выше изложенного можно обратить внимание на мнение начальника управления ресурсных платежей МНС России А. С. Федорова. По его словам, налоговые органы должны работать с каждым плательщиком НДПИ индивидуально. Это не случайно: каждое месторождение индивидуально, а потому нельзя исключать, что для отдельных налогоплательщиков налоговые органы найдут достаточными наши аргументы, чтобы пойти навстречу.

D. A. Chudaev

REGULATION TAX TO MINING OPERATIONS IN THE GAS INDUSTRY: PROSPECTS OF DEVELOPMENT

Since January, 1st, 2004 in chapter 26 of Taxation Code of the Russian Federation have been made rather important changes for the oil-and-gas industry. In particular, the legislator has refused listing all kinds of deposits, and used more convenient concept «all kinds of deposits of hydrocarbonic raw material». The fact of amendments has emphasized, that within 2002–2003 some collisions took place, and they were solved not how the legislator has fixed.

УДК 681.513

А. Г. Бревнова, А. В. Спирин

АНАЛИЗ МОДЕЛЕЙ ЗРЕЛОСТИ ПРОЦЕССОВ УПРАВЛЕНИЯ С ПОЗИЦИИ ВНЕДРЕНИЯ ERP-СИСТЕМ

Рассмотрены организационные условия внедрения ERP-систем на основе критерия качества управления компанией. Производится сравнительный анализ моделей организационной зрелости с позиции внедрения ERP-систем.

Быстрое развитие информационных технологий и их проникновение во все сферы деятельности требуют от компаний оперативного внесения корректив в бизнес-стратегии, чтобы соответствовать постоянно меняющимся реалиям окружающей среды. В целях оптимизации управления производством предприятия готовы инвестировать в инновации и внедрять ИТ-решения, адаптируя адекватным образом бизнес-процессы. Однако полноценный переход к новым формам организации работы невозможен без организационных изменений.

В современных условиях рынка российские компании все больше ориентируются на западные стандарты, например, в вопросах повышения прозрачности бизнеса и его управляемости. В настоящее время наблюдается рост спроса на комплексные системы автоматизации, и в частности ERP-системы. Термин ERP, согласно APICS, означает «финансово ориентированную информационную систему для определения и планирования ресурсов предприятия, необходимых для получения, изготовления, отгрузки и учета заказов потребителей. Система ERP характеризуется техническими характеристиками, такими как графический интерфейс пользователя, реляционная база данных, использование языков четвертого поколения и программным инструментарием для разработки, архитектур клиент-сервер и переносимости на принципах открытых систем (*computer-aided software engineering tools in development, client/server architecture, and open-system portability*)» [1].

Необходимость применения ERP-систем очевидна, но проект внедрения ERP-системы достаточно сложен и требует значительных материальных и временных затрат.

Поэтому лишь немногие российские предприятия способны и готовы осуществлять комплексную автоматизацию своих бизнес-процессов при помощи ERP-систем. Это происходит вследствие следующих причин:

– финансовых (отсутствие финансовых средств для покупки ERP-системы, высокая совокупная стоимость владения и т. д.);

– инфраструктурных (наличие устаревшего и изношенного производственного оборудования, так как после обновления парка оборудования и изменения производственного цикла им необходимо будет нести повторные затраты на перестройку ERP-системы);

– организационных (персонал плохо поддающийся обучению, отсутствие четкой организационной структуры в компании, отсутствие должностных инструкций и/или их неисполнение, отсутствие или неисполнение положений об отделах и т. д.);

– методологических (оптимизация технологических процессов, как правило, значительно дешевле внедрения ERP-системы, сложность определения экономического эффекта от внедрения ERP-системы с помощью стандартных методик).

Одним из основных факторов успешного внедрения ERP-системы является фактор качества управления компанией, так как в основе большинства несбывшихся ожиданий лежит непонимание управленческой природы ERP-внедрения

как со стороны заказчика, так и со стороны интегратора (как задачи реформирования системы управления предприятием). Кроме того, одной из основных проблем при внедрении ERP-систем является построение качественной ИТ-инфраструктуры. Поэтому цель данной статьи состоит в том, чтобы рассмотреть организационные условия внедрения ERP с позиции качества управления компанией, а также предложить комплексный подход оценки качества управления компанией с точки зрения внедрения ERP.

Так как ERP является сложным инструментом управления, для оценки базовых условий внедрения требуется рассмотреть различные аспекты управления компанией. С точки зрения критериев оценки качества управления, в настоящее время существует множество моделей оценки зрелости управления как компанией в целом, так и отдельными процессами. Под моделью зрелости понимают модель, которая содержит базовые элементы эффективных процессов в одной или более областях и описывает путь эволюционного улучшения для каждого конкретного случая, от незрелого до управляемого зрелого процесса с улучшенным качеством и эффективностью. Например CMM® SE (*Capability Maturity Model for Software Engineering)*, модель зрелости процессов по разработке программного обеспечения), CMMI (*Capability Maturity Model Integration* – методология усовершенствования процессов в организациях), являющаяся развитием CMM, OPM 3 (*Organizational Project Maturity Model* – модель зрелости процессов управления проектом). А также BPI (*Business Process Improvement* – методология оценки и улучшения бизнес-процессов), стандарт ISO 15504 SPICE, посвященный аттестации зрелости процессов, и CobIT, описывающий управление ИТ. В отличие от стандартов, таких как ISO и COBIT, модели зрелости не являются технологиями или стандартами, они не содержат жестких требований.

Как правило, модели содержат 5 уровней зрелости процессов управления с 1 до 5, ряд моделей использует нулевой уровень. Уровень зрелости – это достижение улучшения процесса внутри отдельной области процессов. Каждая из вышеперечисленных моделей имеет собственный набор ключевых практик, модель компонентов, глоссарий, рекомендации по применению и рекомендации по переходу на более высокий уровень зрелости.

В результате сравнения выявлено, что характеристики большинства моделей сходны в следующем:

– первый уровень зрелости характеризуется бессистемным и непоследовательным выполнением процессов, неэффективным планированием и отсутствием контрольных показателей;

– второй уровень зрелости характеризуется наличием базовых процедур планирования и контроля, производится выделение и документирование процессов, появляются внутренние регламенты;

– на третьем уровне зрелости совершенствуются процедуры планирования и контроля, появляются внутренние стандарты качества процессов, становится возможным анализ отклонений, делаются попытки количественной оценки процессов;

– четвертый уровень зрелости характеризуется возможностью использования количественных показателей в управлении процессом. Устанавливаются количественные показатели качества выполнения процесса, развиваются процедуры анализа показателей процесса, устанавливаются взаимосвязи между ними. Производится корректировка отклонений;

– пятый уровень является наивысшим, на этом уровне управление процессом ориентировано на постоянное улучшение, использование инноваций с целью повышения его эффективности, осуществляется мониторинг показателей процесса, причины отклонений тщательно анализируются и устраняются;

Однако данные модели могут существенно различаться по составу компонентов и ключевых практик, характерных для различных уровней зрелости.

Описание стадий согласно CMM и BPI практически идентично, кроме того, стандарт ИСО/МЭК 15504 практически полностью заимствует модель оценки процессов из стандарта BPI, однако имеет более полную методическую проработку и четкую непротиворечивую шкалу, согласно которой может быть произведена оценка уровня зрелости процессов предприятия. Модель CMMI предлагает 2 варианта репрезентации и более простую структуру. Более общие модели могут быть дополнены COBIT и OPM3 в силу их специфичности. С целью оценки зрелости процессов предприятия целесообразно совместно использовать модели и стандарты, так как модели содержат лишь наборы ключевых практик, но не предлагают четко формализованных критериев оценки процессов.

На основе перечисленных моделей и стандартов могут создаваться комплексные модели оценки зрелости.

Проанализируем существующие комплексные модели, позволяющие выполнить оценку зрелости процессов организации и ИТ-инфраструктуры с целью внедрения ERP-систем. Одной из таких моделей является модель Л. Бондаренко.

Л. Бондаренко в статье «Внедрение ERP-систем и оценка зрелости организации» [2] модифицировал модель CMM для организаций, внедряющих у себя системы ERP. В отличие от базовой модели, где рассматривается процесс разработки программного обеспечения, он рассмотрел в первую очередь зрелость организации с позиции внедрения и сопровождения информационных систем ERP.

Для систем класса ERP проблема изменчивости внешней среды весьма актуальна, так как сроки внедрения таких систем от нескольких месяцев до нескольких лет. По мере внедрения ERP-системы степень зрелости организации, может изменяться, но как минимум не убывает. По мнению Л. Бондаренко, наиболее актуальной является оценка степени зрелости предприятия перед внедрением ERP системы, чтобы помочь руководству организации оценить риски ERP-проекта.

Кроме того, Л. Бондаренко отмечает, что одним из факторов, по которому можно оценить степень зрелости организации, является механизм взаимодействия информационных технологий (ИТ) и бизнеса. В качестве модели такого взаимодействия он приводит модель ITSM (Information Technology Service Management), разработанную компанией Hewlett-Packard. Основой данной модели является предпосылка, что ИТ оказывают для бизнеса определенную услугу (сервис), обладающую установленными характеристиками.

Автор модели утверждает, что построенное на предприятии взаимодействие между ИТ и бизнесом в соответствии с моделью ITSM, является необходимым условием для отнесения ее к пятому, высшему уровню зрелости.

Основной вывод, который можно сделать из данной модели заключается в том, что оценку степени зрелости предприятия можно разбить на две составляющие:

1) оценка степени зрелости ИТ;

2) оценка степени зрелости бизнеса.

В целом модель зрелости предприятия с позиции внедрения ERP систем можно представить в виде схемы (рис. 1). Знак вопроса ? рядом с ITSM означает, что применение этой модели в схеме возможно только при определенном уровне зрелости.

Однако модель зрелости бизнеса, как и модель зрелости ИТ, использованные Л. Бондаренко, в данном виде нуждаются в корректировке. Модель зрелости CMM SW не обладает развитой шкалой оценок, необходимой для оценки уровня зрелости процессов. Кроме того, CMM SW не в полной мере учитывает процессы управления персоналом и интегрированной разработки продуктов. Как правило, данная модель используется в комплексе с другими CMM моделями и стандартами ISO, что может привести к неоднозначной трактовке используемых терминов. ITSM также не обладает достаточно развитой шкалой оценок и ключевых практик, что затрудняет оценку ИТ-процессов организации. Кроме того, модель ITSM может успешно использоваться лишь начиная с третьего уровня зрелости ИТ-процессов согласно шкале стандарта COBIT, что отражает знак вопроса рядом с ITSM на рис. 1.

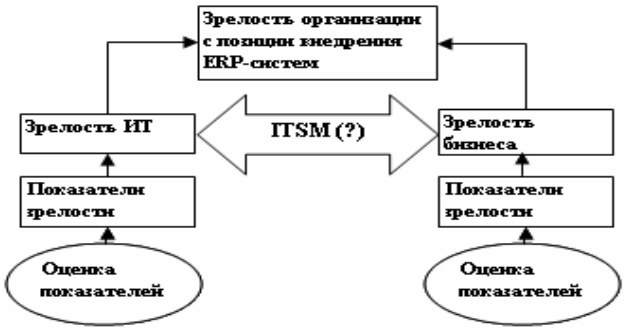


Рис. 1. Модель зрелости организации
с позиции внедрения ERP систем

Таким образом, при условии использования шкалы COBIT вместо ITSM данная модель может быть представлена в виде двухмерного графика, в котором по одной оси находится оценка зрелости системы управления предприятием, а по другой – оценка зрелости ИТ, что позволило бы выполнить качественную оценку рисков и выделить ключевые области процессов (process area), требующие дополнительного внимания при внедрении ERP-систем. Похожий подход использован К. - Овчаренко в предложенной им методологии комплексного консалтинга.

Наряду с данной моделью существует шкала оценок развития предприятия (И. В. Балахонова, С. А. Волчков, В. А. Капитуров), характеризующая развитие промышленного предприятия в трех плоскостях (рис. 2):

1) развитие системы менеджмента качества (от QA до TQM);

2) развитие рыночных способностей предприятия (от Niche Player – «Игрока на определенной ниши» до Leader – «Лидера отрасли»);

3) развитие технологической и методологической инфраструктуры предприятия (от MRPII до ERPII) [3].

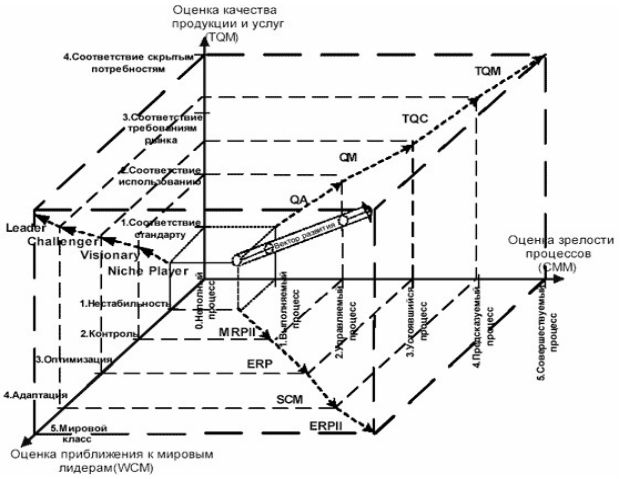


Рис. 2. «Вектор развития» деятельности предприятия

Развитие системы управления бизнес-процессами планируется исходя из оценки качества готовой продукции, зрелости процессов, приближения к мировым лидерам. Данные показатели будут отражать требования текущей и прогнозируемой экономической ситуации.

Модель шкалы оценок развития, разработанная И. В. Балахоновой, С. А. Волчковым и В. А. Капитуровым противоречива, ее применение сопряжено с определенными трудностями, так как модель не содержит ссылок на документы, использованные при ее разработке. Очевидно, что для определения положения по оси Y–TQM используются стандарты серии ISO 9000, однако какие именно группы стандартов послужили основой шкалы, используемой в модели, авторы не указали. Ось Z–WCM построена согласно модели производства мирового класса, четкая шкала оценок по данной оси в модели также отсутствует. Для оценок по шкале CMM применяется модель CMM SW, но авторы не указали, какая именно версия. Кроме того, используемый набор осей не представляется очевидным, так как на практике применение предприятиями концепций ERP и ERP II не является условием приближения их к лидерам отрасли, альтернативой являются компании, использующие системы планирования на основе *Kanban* и концепцию *Lean Manufacturing*. Кроме того, данная модель не позволяет выполнить оценку ИТ-инфраструктуры, так как не содержит необходимых для этого показателей. Однако несомненным достоинством модели является использование соответствия осей CMM и TQM, так как стандарты ISO и CMM-модели являются взаимодополняющими. В приложении к тесту CMM, как правило, дается информации о соответствии набору стандартов ISO.

По мнению авторов, в основу модели оценки организационных условий внедрения ERP-систем должны быть

положены стандарты, позволяющие оценить зрелость системы управления организацией, ИТ-инфраструктуры, а также системы управления проектами, так как проект внедрения ERP-системы является сложным как с организационной, так и с технологической точки зрения.

В данном случае может быть использована трехмерная модель оценки предприятия с точки зрения внедрения ERP-систем:

ось Y – зрелость системы управления (CMM);

ось X – зрелость системы управления проектами (OPM3);

ось Z – зрелость ИТ (COBIT) (рис. 3).

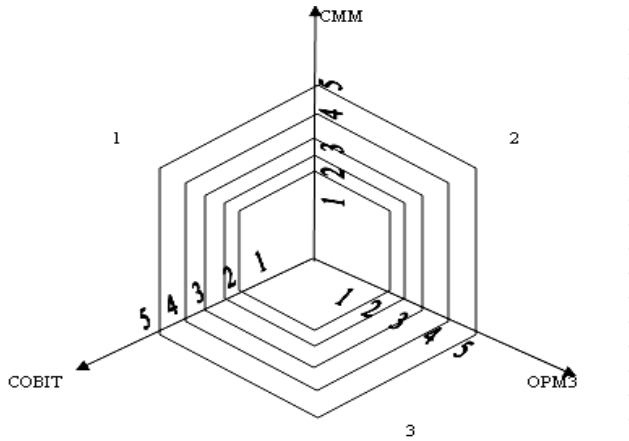


Рис. 3. Трехмерная модель зрелости организации с позиции внедрения ERP-систем

Модель позволяет оценить риски внедрения ERP-систем с точки зрения управления проектом в сфере соответствия уровня развития системы управления и ИТ-инфраструктуры (плоскость *1*), управления организационным проектом (плоскость *2*), совершенствования ИТ-инфраструктуры (плоскость *3*). Кроме того, данная модель позволяет определить дальнейшие направления совершенствования процессов компании в каждой из плоскостей. Но в связи с тем что в данной модели присутствуют 3 стандарта, это делает ее слишком сложной для понимания и неоднородной с терминологической точки зрения. Кроме того, могут возникнуть противоречия при одновременном использовании шкал OPM3 и CMM.

Решить данную проблему помогает модель CMMI v 1.2. Она включает 4 ключевые области процессов: управление процессами производства конечного продукта, управление проектом, управление разработкой и управление поддержкой и сервисным обслуживанием. Таким образом, данная модель позволяет в комплексе оценить все группы процессов, касающиеся разработки и производства продукции, послепродажного обслуживания и проектного управления. Однако данную модель можно использовать с одной оговоркой: она предназначена в первую очередь для компаний, специализирующихся в сфере разработки программного обеспечения. Поэтому, если планируется применение модели для торговых и промышленных компаний, она требует некоторой адаптации.

Использование поэтапной репрезентации CMMI позволяет свести решение проблемы к двухмерной модели.

В то же время использование непрерывной репрезентации CMMI при необходимости позволяет использовать детальную многомерную модель для каждой из рассматриваемых областей процессов (рис. 4).

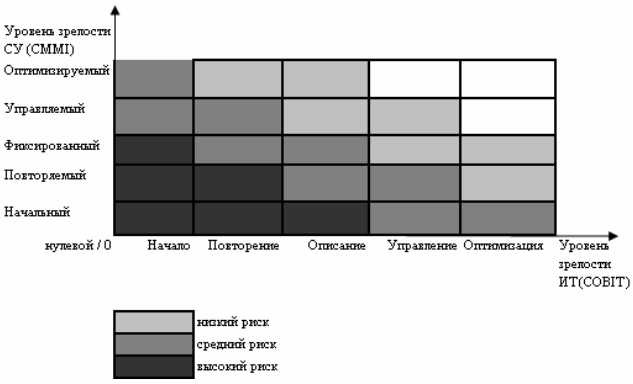


Рис. 4. Модель зрелости организации с позиции внедрения ERP систем (с использованием шкалы COBIT)

Таким образом, были рассмотрены модели оценки зрелости системы управления компании и системы управления ИТ с позиции внедрения ERP-систем, также был предложен собственный подход к проблеме. На основании рассмотренных моделей можно сделать следующие выводы: обе модели основываются на модели зрелости разработки программного обеспечения и вызывают интерес, однако они являются спорными вследствие недостаточной формализации критериев оценки и обоснованности существования взаимосвязей ключевых параметров. Примененное в модели зрелости организации с позиции внедрения ERP систем утверждение о взаимосвязях между моделями CMM и ITSM не является очевидным, кроме того, критерии зрелости бизнеса по Л. Бондаренко не определены. Модель «вектора развития» также является спорной в части выделения ключевых плоскостей, характеризующих развитие предприятия, т. е. взаимосвязь развития системы менеджмента качества с рыночными позициями предприятия и технологической и информационной инфраструктурой предприятия также не является очевидной, так как в отечественной практике и за рубежом известны случаи ухудшения рыночных показателей вследствие внедрения ERP-систем.

Предложенный подход позволяет минимизировать недостатки рассмотренных моделей путем совместного использования стандартов COBIT и CMMI, что позволяет получить двухмерную или многомерную модель оценки компании, однако требуется глубокий анализ понятийного аппарата обеих моделей и сопоставление ключевых практик, соответствующих различным уровням зрелости. Таким образом, предложенный подход, как и проблема оценки организационных условий внедрения ERP-систем, требует дальнейшей более детальной проработки с использованием продуктов отечественного и зарубежного опыта.

Библиографический список

1. Гаврилов, Д. А. Управление производством на базе MRP II / Д. А. Гаврилов. СПб. : Питер, 2005. 416 с.

2. Бондаренко, Л. Внедрение ERP-систем и оценка зрелости организации / Л. Бондаренко // Финансовая газета. 2004. № 5. С. 11.

3. Балахонова, И. В. Система делает прыжок, когда нет другого выбора / И. В. Балахонова, С. А. Волчков, В. А Капитуров // Методы менеджмента качества. 2004. № 6. С. 24–31.

A. G. Brevnova, A. V. Spirin

ANALISYS OF MATURITY MODELS OF MANAGEMENT PROSESSES FOR IMPLEMENTATION OF ERP-SYSTEMS

Organizational features concerning quality of management of a company are considered. Comparative analysis of organizational maturity models for ERP implementation is carried out.

УДК 658.1:004

В. А. Есалов

УПРАВЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМОЙ МАЛОГО ПРЕДПРИЯТИЯ В УСЛОВИЯХ РАЗВИТИЯ

Рассмотрена проблема управления информационной системой малого предприятия в условиях развития. Обоснованы отказ от построения целевых моделей при описании бизнес-процессов, концентрируясь на степени использования тех или иных функций, и введение трех групп критериев определения вероятности наличия дополнительных бизнес-процессов в будущем.

Малое предприятие не является уменьшенной сущностью крупного, а представляет из себя экономический субъект, имеющий определенную специфику, в том числе отражающуюся на его системе информационного обеспечения. Применительно к последней важнейшими элементами такой специфики являются необходимость частых изменений, мобильность и высокая скорость реакции предприятия на изменения среды, а также невозможность выделения сложных организационных элементов и несения чрезмерных расходов на поддержку ИС.

На малом предприятии реализация отдельных функций ИС сильно зависит от того, каких исходных данных и механизма принятия требует то или иное решение. В качестве систем информационного обеспечения малого предприятия могут быть пригодны различные типы и методологии построения информационных систем. Анализ идеологий и стандартов построения корпоративных информационных систем показал, что существует несколько возможностей построения корпоративных информационных систем для малого предприятия. Однако это не дает возможности руководству предприятия напрямую на основе тех или иных формализованных критериев выбрать тот вариант, который наиболее соответствует эффективному обеспечению информационно-управленческих процессов предприятия. Существует несколько причин этого, однако в качестве наиболее актуальной выступает именно вероятная неспособность ИС адаптироваться к будущим изменениям. С учетом существующей практики применения ИС, построенных в соответствии с различными стандартами, необходимо разработать принципы эффективной «подстройки» или модернизации ИС любого из этих типов при развитии малого предприятия.

Выбор ИС при условии статичной, не изменяющейся организации может быть организован на основе сравнительного анализа функциональности конкретных информационных систем. Известная методика анализа функциональности информационных систем [3. С. 17] на основе метода графов предполагает оценку полноты состава автоматизируемых функций относительно «эталонной», востребованной предприятием системы, а также степени их подобия и связи друг с другом. Так, выделяются отдельные системы, от IS_i до IS_k и вводятся следующие отношения и обозначения:

$$P_{ik}^{11} = IS_i \cap IS_k,$$

где P_{ik}^{11} – мощность пересечения систем относительно автоматизируемых функций;

$$P_{ik}^{01} = IS_k / IS_i, \; P_{ki}^{10} = IS_i / IS_k,$$

где P_{ik}^{01}, P_{ki}^{10} – мощность разности соответствующих множеств пересечения систем относительно автоматизируемых функций.

В качестве меры рассогласованности между системами IS_i и IS_k выбирается величина S_{ik}:

$$S_{ik} = P_{ik}^{01} / P_{ik}^{11} + P_{ki}^{10}.$$

Для оценки степени поглощения системой IS_k системы IS_i выбирается величина H_{ik}:

$$H_{ik} = P_{ik}^{11} / P_{ik}^{11} + P_{ik}^{10}.$$

Для оценки степени подобия систем выбирается мера подобия Жаккарда:

$$G_{ik} = P_{ik}^{11} / P_{ik}^{11} + P_{ik}^{10} + P_{ik}^{01}.$$

С помощью логических матриц поглощения (включения) определяется мера взаимосвязи и подобия между сравниваемыми системами IS_i и IS_k. Рассчитываются следующие показатели:

– доля общих функций. Реализуемыми одновременно системами IS_i и IS_k в общем объеме функций IS_i (матрица H);

– количество общих функций у систем IS_i и IS_k (матрица P_0);

– доля общих функций в общем объеме функций систем IS_i и IS_k (матрица G_0).

В результате расчетов могут быть получены графы подобия систем G_0 и поглощения H относительно имеющихся и востребованных функций. Задавая различные пороговые значения меры соответствия систем требованиям пользователя, можно получить разные группировки ИС по функциональной полноте. Так, согласно И. Ю. Шполянской [4], в результате анализа девяти наиболее известных на рынке информационных систем для малого бизнеса, для коэффициента подобия 0,6 получены графы, представленные на рис. 1 (информационные системы представлены без названий, в обезличенной форме под условными обозначениями IS_1–IS_9).

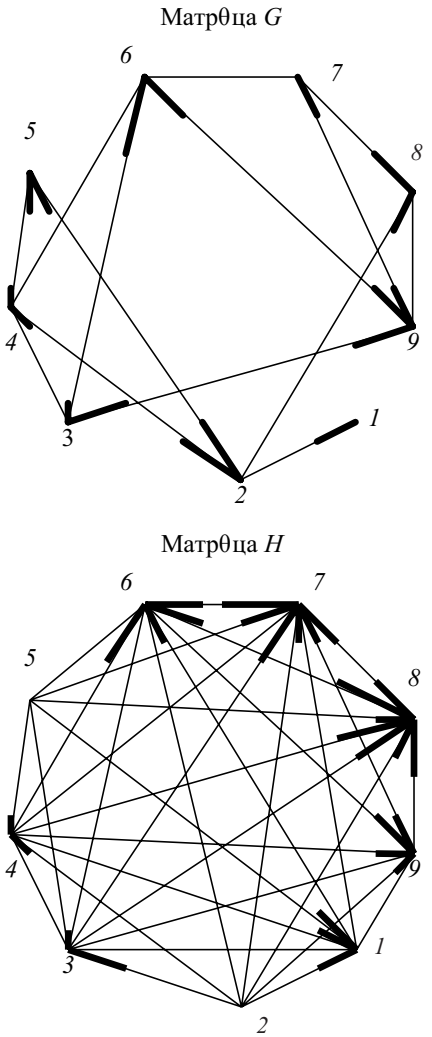


Рис. 1. Графы подобия и поглощения ИС для малого бизнеса IS_1–IS_9 (согласно И. Ю. Шполянской [4])

Обезличенные системы IS_7 и IS_8 являются функционально наиболее полными, так как набор автоматизируемых функций поглощает функции всех других систем. Напротив, системы IS_2 и IS_5 содержат наименьшее число функций.

При создании или модернизации системы информационного обеспечения малого предприятия необходимо учитывать, что этот процесс должен являться запланированным организационным изменением. Иначе затраты на изменения и возможности неудачного внедрения сводят к минимуму эффективность новых информационных систем. Необходимо спланировать то, как система будет влиять на организацию в целом, обратить особое внимание на организационные противоречия и изменения в местах принятия решений.

Малое предприятие при этом может рассматриваться как система, в которой управление направлено на координацию связанного множества бизнес-процессов для достижения целей предприятия. Модель бизнес-процессов малого предприятия включает описание основных характеристик бизнес-системы, в том числе целей деятельности, стратегий ее достижения, основных и обеспечивающих бизнес-процессов, параметров этих бизнес-процессов [2. С. 7; 1. С. 48].

Для создания бизнес-модели малого предприятия на начальном этапе необходимо провести семантический анализ, включающий описание бизнес-процессов, сущностей предметной области и их связей. Недостатком существующих подходов является отсутствие формализованных процедур анализа предметной области, которые необходимы для создания полного списка бизнес-процессов малого предприятия и их описаний. В то же время именно они необходимы для создания основы системы поддержки принятия решений и определения функциональной основы будущей ИС.

Для определения сущностей системы, составляющих словарь предметной области, И. Ю. Шполянской был выполнен комплексный анализ функционирования малых предприятий в виде описания всех возможных описаний бизнес-процессов как реакций на внешние и внутренние события в системе [3. С. 48]. Было выполнено детализированное описание бизнес-процессов и динамических характеристик предметной области как возможных вариантов функционирования системы. Из данного описания выделяются концептуальные сущности (концепты), составляющие основу модели проектируемой информационной системы. Фрагмент описания бизнес-процессов приведен в табл. 1.

Проблемой в данном случае является сложность выделения используемых (и, следовательно, являющихся кандидатами на автоматизацию) бизнес-процессов на конкретном предприятии.

На следующем этапе множество выделенных концептов должно быть структурировано на основе причинно-следственных связей. Полученная иерархия в теории позволяет детализировать бизнес-модель системы с помощью причинной (каузальной) логики, когда функционирование системы описывается в терминах «причина–следствие».

На практике связи между различными количественными показателями, часть из которых является независимыми от прямого управленческого воздействия факторами (например, прибыль, объемы продаж), а часть – прямыми факторами управления (цены, количество продуктов и т. д.) не всегда могут быть однозначно формально описаны. Обобщенный список анализируемых факторов может быть представлен в виде табл. 2.

В то же время в известных методиках предлагается экспертное определение связей между вышеназванными анализируемыми факторами. Построение карты взаимосвязей управляющих показателей и факторов, влияющих на них, предлагается реализовать с помощью опроса экспертов-специалистов в области менеджмента, поддержанных распределенной системой поддержки принятия решений. При этом каждый эксперт оценивает непосредственное взаимодействие каждой пары факторов из списка с возможными базовыми значениями отношений причинности (плюс, если отмечается положительное в сторону увеличения влияние фактора, минус, если отрицательное, уменьшающее влияние фактора и ноль, если влияние отсутствует). В результате опроса формируется матрица или граф взаимных влияний между выделенными показателями и факторами. Графическое представление этой матрицы представлено на рис. 2.

На наш взгляд, данный подход вносит полезную теоретическую основу, но имеет ряд практических недостатков:

– использование экспертных оценок снижает объективность метода;

– точное количественное влияние не может быть однозначно описано;

– необходимость привлечения экспертов значительно повышает время обследования и увеличивает стоимость фазы предпроектного анализа при внедрении ИС.

В то же время может быть предложен следующий выход из данной ситуации. Необходимо на основании статистического анализа провести инвентаризацию событий/состояний, которые требуют управленческого воздействия на данном конкретном предприятии. Это позволит определить функции, нуждающиеся в поддержке принятия решения, без построения целевых моделей зависимости показателей.

В качестве шаблона может быть использована любая известная модель бизнес-процессов, реализованная в программных корпоративных информационных системах, в которой сначала даются ответы на вопросы об использовании каждого из укрупненных бизнес-процессов на данном предприятии. Затем по процессам, получившим положительный ответ, проводится детализация и вновь определяются используемые и неиспользуемые бизнес-процессы. Для используемых проводится более глубокая детализация, и так до конечного масштаба.

Для еще большего упрощения процедур для наиболее мелких предприятий необходимо провести четкое разграничение списка количественных показателей на малом предприятии на независимые от прямого управленческого воздействия факторы (например, прибыль, объемы продаж) и прямые факторы управления (цены, количество продуктов и т. д.). Информация о точках приложения управленческого воздействия на факторы управления является непосредственно доступной руководству малого предприятия и может быть однозначно определена, поэтому может быть определен конечный список событий и состояний конкретного малого предприятия, когда требуется управленческое решение, воздействующее на один из факторов управления.

Таким образом, по шаблону известной модели бизнес-процессов с постепенной детализацией или через определение конечного количества факторов управления, выявляются точки приложения управленческого воздействия.

Далее должен быть проведен статистический анализ, в процессе которого выявляется количество решений, принимаемых за определенный период времени в каждой выявленной точке. Данный анализ может быть организован как в виде автоматизированной статистической системы, так и путем подсчета количества документов, прошедших ту или иную точку/состояние за определенный период времени.

Таким образом, предлагаемая методика определения потребностей в автоматизации вносит принципиальное

Таблица 1

База знаний типовых бизнес-процессов малого предприятия (фрагмент)

Соαытθе/состоянθе	Бθзнес-процесс	Ключевой ооъект-концепт	Связанный концепт	Управляющθй показатель
Дефθцθт матерθала на складе	Заказ поставщθкσ, оформленθе договора	Договор на поставкσ	Матерθал (комплектσющθе)	Плановый срок поставкθ, Размер партθθ поставкθ
Поставщθк сделал поставкσ	Прθем товара Учет Выполненθя договора Корректθровка БД	Договор на поставкσ Запасы	Матерθал (комплектσющθе)	Фактθческθй срок поставкθ. Фактθческθй размер партθθ поставкθ Размер запаса

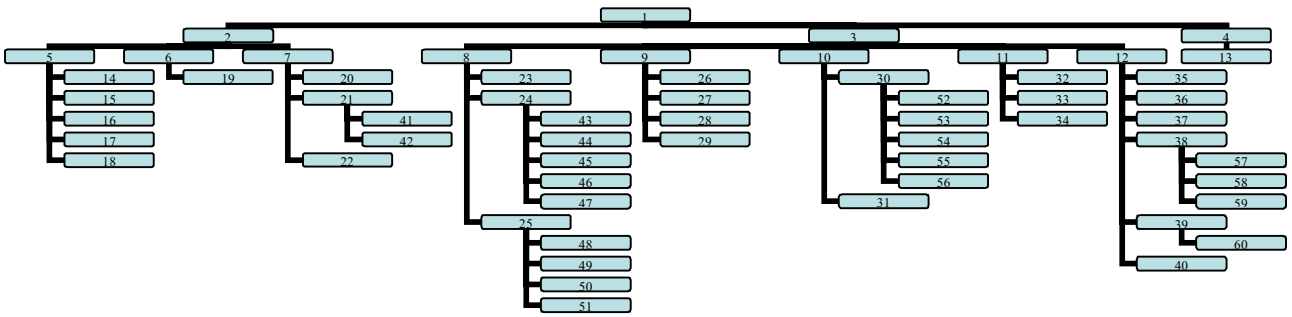


Рис. 2. Модель взаимосвязи показателей и факторов управления на малом предприятии

новшество – отказ от построения целевых моделей при описании бизнес-процессов, концентрируясь на степени использования, а значит, необходимости автоматизации тех или иных функций. Действительно, построение целевых моделей заложено в программные модули готовых решений ИС на основе типовых моделей при автоматизации тех или иных функций. Это дает возможность упростить методику, что несет непосредственную пользу для проведения таких обследований на малых предприятиях, поскольку экономит время, не требует дорогостоящих процедур и заведомо снижает субъективность оценок.

Таблица 2

Обобщенный список показателей и факторов управления на малом предприятии

№ п/п	Названθе фактора
1	Прθαыль
2	Колθчественные значенθя продаж
3	Затраты
4	Цены
5	Оαорачθваемость оαоротных средств
…	...
60	Налθчные денежные средства

Кроме этого, упрощенный характер по сравнению с существующими методиками определения потребностей в автоматизации дает возможность быстрого использования для прогнозирования будущих состояний бизнеса, а значит, и будущей оптимальной информационной системы управления.

Продемонстрируем это. С помощью описанных выше процедур на укрупненном шаблоне типовой модели бизнес-процессов выделяются существующие на данном малом предприятии. Процессы шаблона, имеющие связи с сущетсвующими процессами являются наиболее вероятными «кандидатами» на присутствие в деятельности организации в будущем. Выделенные существующие процессы детализируются до такого масштаба, при котором существующих подпроцессов не будет найдено (рис. 3). Существующие бизнес-процессы обозначены черным цветом. Заштрихованные процессы не существуют в настоящий момент, но являются возможными кандидатами на включение в деятельность малого предприятия, согласно типовым моделям, поскольку имеют связи с существующими процессами. Белые незаштрихованные процессы – наименее вероятные кандидаты на автоматизацию: они не только не существуют в настоящий момент, но и не связаны тем или иным образом с существующими процессами.

Это также может быть подтверждено или опровергнуто с определенной степенью вероятности руководством малого предприятия, руководителями соответствующих подразделений, ответственных за данный процесс, вплоть до непосредственных исполнителей.

Кроме этого, вероятность включения процессов в бизнес может дополнительно увеличиваться при наличии таких процессов в типовой модели бизнес процессов, специализированной по отраслевой принадлежности, масштабу и т. д.

Таким образом, появляется три группы критериев определения вероятности наличия дополнительных бизнес-процессов в будущем:

– наличие связей бизнес-процессов-«кандидатов» с существующими процессами на типовой модели;

– подтверждение ответственными за принятие решений лицами вероятности введения этих процессов в бизнес;

– наличие этих бизнес-процессов в типовой модели, специализированной по отраслевому признаку, масштабу и другим характеристикам.

Это необходимо для последующего точного определения содержания проектируемой ИС.

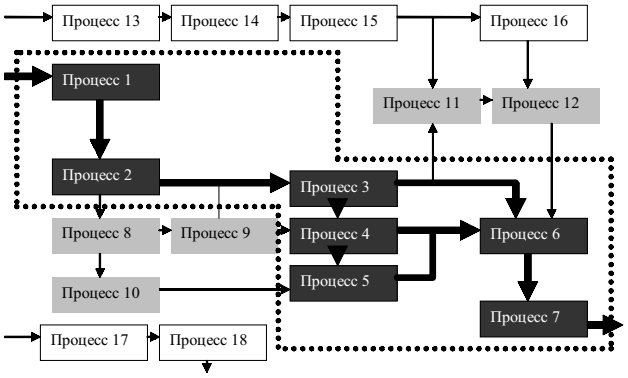


Рис. 3. Схема вероятных изменений бизнес-процессов

После проведения вышеописанных процедур задача эффективной автоматизации – охватить только необходимые для автоматизации связанные друг с другом функции. Причем сделать это с необходимым масштабом детализации бизнес-процессов на каждом отдельном участке (рис. 4)

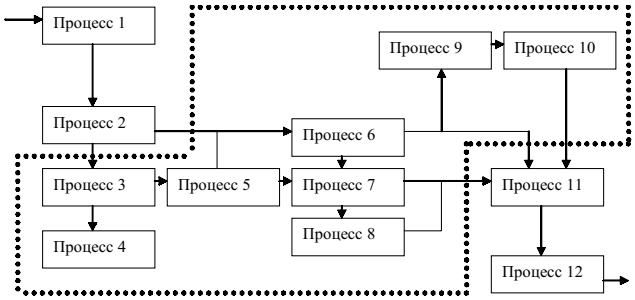


Рис. 4. Бизнес-процессы, подлежащие автоматизации

Процессы, не вошедшие в выделенную пунктиром зону (№ 1, 2, 11 и 12) по результатам анализа не нуждаются в автоматизации для сегодняшнего состояния. В то же время они являются вероятными «кандидатами» на автоматизацию в будущие периоды.

Таким образом, процессы изменений бизнес-процессов на малых предприятиях должны быть спрогнозированы и обоснованы, для чего нужны определенные критерии. Чем более «запрограммированными» будут изменения бизнес-процессов и ИС, тем большая эффективность будет достигнута при автоматизации и тем меньше потерь понесет фирма при изменениях.

Для целей поиска практически применимой методики построения модели изменений бизнес-процессов малого предприятия, которые позволяют построить эффективную систему изменений ИС, нами предлагаются следующие методические рекомендации:

– отказ от построения целевых моделей при описании бизнес-процессов, концентрируясь на степени использования, а значит, необходимости автоматизации тех или иных функций;

– выделение событий и состояний, требующих прямого принятия решений сотрудником малого предприятия с разбивкой на определенные периоды (день, месяц, год или др.);

– введение четкого разбиения списка количественных показателей на малом предприятии на независимые от прямого управленческого воздействия факторы (например, прибыль, объемы продаж) и прямые факторы управления (цены, количество продуктов и т. д.) для большего упрощения оценки необходимости тех или иных функций и процессов;

– использование статистического анализа для подсчета количества проведенных бизнес-процессов (подтвержденных появлением ключевых объектов-концентов, а также не приведших к их появлению) с разбивкой на определенные периоды (день, месяц, год или др.);

введение трех групп критериев определения вероятности наличия дополнительных бизнес-процессов в будущем.

Библиографический список

1. Хаммер, М. Реинжениринг корпорации: манифест революции в бизнесе / М. Хаммер, Д. Чампи. СПб: Изд-во С.-Петербург. ун-та, 1999.

2. Тельнов, Ю. Ф. Реинжиниринг бизнес-процессов: учеб. пособие / Ю. Ф. Тельнов ; Моск. междунар. ин-т эконометрики, информатики, финансов и права. М., 2002. С. 7.

3. Шполянская, И. Ю. Экономико-математические и инструментальные методы обеспечения потребительского качества проектируемых информационных систем для малых предприятий : автореф. дисс. ... д-ра экон. наук / И. Ю. Шполянкский. Ростов-н/Д, 2006.

V. A. Esalov

MANAGEMENT OF INFORMATION SYSTEM OF A SMALL ENTERPRISE IN CONDITIONS OF DEVELOPMENT

It is considered the problem of management of small enterprise in conditions of developmen information system. Refusal of construction of target models at the description of business-processes, concentrating on degrees of some functions use, and introduction of three groups of criteria of definition of probability of including additional business-processes are proved.

УДК 658.1:004

В. А. Есалов, В. П. Ворошилов

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ МАЛОГО И СРЕДНЕГО БИЗНЕСА

Рассмотрена проблема повышения эффективности использования информационных систем на промышленных предприятиях малого и среднего бизнеса. Показана специфика информационных систем таких предприятий, необходимость использования «сервисного» подхода и типовых моделей бизнес-процессов, возможность повышения эффективности за счет априорного планирования возможных изменений информационной системы при развитии малого предприятия.

Как показывают исследования и практика работы предприятий, одной из основных причин, тормозящих развитие малого предпринимательства, является недостаточно эффективное использование информационного обеспечения на малых предприятиях. В то же время проблемам информации и управлению ей как процессу на малых предприятиях, а также созданию эффективных информационных систем (ИС) должно быть уделено большое внимание, обусловленное следующими объективными процессами [1]:

– человечество в целом и сфера бизнеса переживают информационный взрыв, причем рост циркулирующей и хранящейся в обществе и деловой среде информации уже вышел за пределы индивидуальных возможностей человека по ее усвоению;

– активно развиваются массово-коммуникационные процессы и происходит быстрое проникновение информационных технологий в социально-экономические сферы, причем если ранее в эти процессы активно вовлекались лишь крупные предприятия, то в настоящее время ими охвачены как малые предприятия, так и их клиенты;

– все большее значение и вес в экономике приобретают малые предприятия, которые оперативно реагируют на изменение спроса, придают экономике необходимую гибкость, обеспечивая необходимое равновесие на потребительском рынке.

В этих условиях на уровне малой фирмы возникает необходимость централизовать получаемые внутри и приходящие извне информационные ресурсы для их эффективного использования. Данная задача ложится на информа-

ционные системы таких предприятий. Как же обеспечить эффективную работу информационной системы малого предприятия? Очевидно, необходимо учесть требования бизнеса при создании его информационной системы.

За рубежом существует больший опыт управления информационными системами для целей бизнеса, причем для повышения эффективности поддержки бизнеса повсеместно используются типовые модели бизнес-процессов. В области управления ИТ типовые модели управления были разработаны сравнительно недавно, что является признаком новизны соответствующей области менеджмента. В качестве типовой модели бизнес-процессов для сферы ИТ в развитых странах используется модель ITIL (Information Technology Infrastructure Library) и ее коммерческие реализации.

ITIL подчеркивает важность предоставления ИТ-услуг (или сервисов) для удовлетворения бизнес-требований, причем экономически эффективным способом. ITIL предлагает модель организации бизнес-процессов ИС фирмы, благодаря которой информационная система превращается в «продавца» информационных услуг, переставая быть только источником затрат и превращаясь в опосредованный источник корпоративной прибыли. Опираясь на систему стандартов ITIL, типовая модель описывает основные группы процессов, отражающие разные аспекты жизненного цикла ИТ-услуги – от анализа тех задач, которые бизнес-подразделения ставят перед отделом автоматизации, до определения спецификаций услуги и разработки соглашений об уровне обслуживания, реализации, развертывания и поддержки услуг.

Переход к ИТ-услугам как объектам управления (вместо информационных систем в целом) для процессов управления ИС малого предприятия представляет ряд преимуществ.

1. В области бюджетирования и планирования ITIL предусматривает, что предприятие в целом и его бизнес-подразделения выдвигают перед ИС необходимые им параметры ИТ-услуг, а ИС обеспечивает их разработку и сопровождение. В этом случае информационные системы выступают как один из ресурсов малого предприятия наряду с другими (персонал, бюджет и др.), а их развитие определяется планами развития и сопровождения ИТ-услуг. В рамках бюджетирования сопоставляются требования бизнеса к услуге и затраты на выполнение этих требований. Далее при определении финансового результата от планируемой услуги бизнес определяет поток доходов, связанный с использованием сервиса, тогда как ИС определяет поток расходов, связанный с ее внедрением и эксплуатацией. Сумма потоков и дает финансовый результат. Проекты развития ИТ-услуг, удовлетворяющие при этом критериям предприятия, вносятся в бюджет.

2. При организации работ поддержка ИТ-услуги – более широкое понятие, нежели поддержка информационной системы. Так, при серьезном сбое это означает возможность перехода на альтернативную информационную систему, подготовленную заблаговременно для поддержания сервиса в рабочем состоянии. Такое же расширение понятия происходит и по отношению к разработке сервиса: психологически и управленчески проще отказаться от одной программно-аппаратной платформы в пользу другой. Кроме этого, меняется отношение к изменениям в составе и настройках оборудования и программного обеспечения. Необходимость поддерживать существующие сервисы, закрепленная в правилах и процессах ИС, предопределяет гораздо более жесткие процедуры контроля изменений, чем в случае, когда объектом управления является система. При этом логика процесса управления ориентирует контроль изменений на отдельно взятую информационную систему, а не на информационную инфраструктуру фирмы.

3. При контроле и измерении результатов деятельность ИС контролируется показателями, представляющими непосредственную ценность для бизнес-пользователей. Параметры сервиса, необходимые бизнесу, представляют собой данные для контроля результатов деятельности информационной службы. При контроле параметров информационной системы, напротив, возникает понятийный барьер между бизнес-пользователями и сотрудниками ИС: технические параметры системы сложно объяснить бизнес-пользователю, тогда как требования пользователя становятся недоступными сотрудникам ИТ-службы.

Рассмотрим возможности применения этих результатов на малых предприятиях. В отличие от крупных предприятий, субъекты малого бизнеса не перегружены инертными активами, тормозящими быструю смену различных фондов, продукции, а также видов и способов деятельности. Общепризнано, что специфика и преимущества малых фирм во многом связаны с их гибкостью и способностью оперативной адаптации в условиях изменений внешней среды. В условиях динамичного развития рынка, быстрого изменения конъюнктуры, внешних и внутренних условий адаптация и развитие такого предприятия становится необходимым условием его выживания. Минимум персонала, основных средств, простая организационная структура и отсутствие проектов, имеющих чрезмерно длительный срок окупаемости, позволяют говорить о малом предприятии не как об уменьшенной копии крупного, а как об экономическом объекте, имеющем свою специфику и особенности.

Из этих особенностей проистекают и специфические потребности таких предприятий к информационным системам. Поставим задачу выделить особенности и проблемы практического применения информационных систем в управлении малыми предприятиями как специфическим классом экономических объектов.

Для того чтобы выявить текущее положение в области использования информационных систем на малых предприятиях, было проведено соответствующее исследование. Кратко представим технологию проведения и полученные результаты. Исследование проведено в течение первого полугодия 2006 г. среди 28 малых предприятий, ведущих свою деятельность в г. Красноярске и на территории Красноярского края. Методы исследования – опрос и наблюдение.

В результате проведенного исследования были выявлены основные потребности малых предприятий в области информационного обеспечения системы управления и бизнес-процессов.

На основе проведенного исследования, в рамках задачи по поиску способов наиболее эффективной реали-

зации информационных потребностей малых предприятий, наиболее востребованным с точки зрения руководителей этих предприятий, как выяснилось, является комплекс экономичных решений по следующим направлениям:

– организация ведения бухгалтерского (финансового) учета;

– интегрированная с системой бухгалтерского учета система управленческого учета по необходимым для данного предприятия блокам, с учетом специфики отрасли (складской учет, учет персонала, логистика и т. д.);

– консультации и выработка рекомендаций по выбору оптимальных прикладных и системных программных продуктов. Обеспечивающих простоту внедрения и наименьшие затраты на реализацию необходимых функций;

– организация доступа в сеть Internet;

– организация сетевой печати;

– готовые комплекты активного и пассивного сетевого оборудования для развертывания локальной сети.

Подход к информатизации фирмы на основе данных направлений помогает комплексно и обоснованно решить стоящие задачи в области информационного обеспечения, сократить излишние расходы, обеспечить экономию времени на внедрение и эксплуатацию. Данная схема позволяет объединить ресурсы предприятия, сделать доступными любые устройства с требуемых рабочих мест и оптимизировать работу.

Конкретные способы реализации направлений и сами технологические решения разрабатываются в соответствии с требованиями руководства малого предприятия и должны быть основаны на адекватных задаче технологиях. При этом нужно учитывать необходимость комплексного подхода, возможность масштабирования и другие параметры.

Для сравнительного анализа программных систем для малого бизнеса по критерию функциональной полноты в более ранних исследованиях различных авторов уже проводились численные оценки функциональной полноты различных информационных систем, которые позволяют сопоставить системы как между собой, так и по отношению к потребностям конкретного малого предприятия [2]. Анализ наиболее распространенных программных систем для малого бизнеса позволяет выделить перечень функций управления, который дополняется функциями, выявленными в соответствии с требованиями пользователей ИС. Среди наиболее известных и востребованных продуктов могут быть выделены такие, как «1С – набор для небольшой фирмы», «Парус – предприятие 7.5», «Парус – предприятие 4W», «Бэст-офис», «Галактика-Старт», «SAP Business One», «SAP All-In-One», «MBS Navision», «MBS Navision Малый бизнес» и др. (см. таблицу).

В то же время практически во всех случаях были отмечены недостатки тех или иных решений информационных систем, которые выявляются уже через несколько месяцев после начала их эксплуатации. Попытки справиться с ними привели к очень интересному выводу, смысл которого заключается в том, что при проектировании и внедрении решения задаются одни параметры функционирования систем, а затем потребности фирмы несколько меняются, и данное решение уже не соответствует современным потребностям в полной мере. Таким образом, основное отличие малых предприятий от крупных – способность к быстрой адаптации – не находит должного адекватного ответа со стороны их информационных систем.

Список автоматизируемых функций наиболее известных программных систем для малого бизнеса по И. Ю. Шполянской (фрагмент) [3]

	Кадры θ зарплата
1.	Планθрованθе чθсленностθ персонала
2.	Расчет фонда оплаты трσда
	……
	Управленθе продажамθ
3.	Веденθе БД клθентов
4.	Веденθе БД продσктов
5.	Аналθз предпочтенθй клθентов
6.	Прогнозθрованθе спроса клθентов
7.	Аналθз продаж
	……
	Управленθе запасамθ
8.	Планθрованθе потрεбностей в матерθальных ресσрсах
9.	Планθрованθе σровня запасов товаров, матерθалов
10.	Учет θ аналθз состоянθя матерθальных запасов
	……

Расширение территории деятельности фирмы, создание новых филиалов и подразделений, появление новых видов продукции, изменение бизнес-процессов – объективные причины для модернизации и соответствующего развития информационных систем (ИС) предприятий малого и среднего бизнеса. При этом очевидно, что выбор, построение и внедрение информационных систем должно соответствовать этим новым вызовам, а уже внедренные ИС в условиях развития предприятия должны при необходимости адекватно изменяться, демонстрировать стабильность и высокую экономическую эффективность при их применении.

С учетом ограниченности ресурсов малого предприятия и невозможности отвлечения значительных средств на ее информационную систему, исследование среди малых предприятий было дополнено опросом о том, насколько возможно выявить будущие изменения уже сегодня и на этой основе попытаться понять, какой методологический аппарат для этого использовать.

Были выявлены оценки руководителей малых предприятий касательно причин изменений информационных систем за последние 5 лет и прогноз причин дальнейших изменений. Результаты свидетельствуют о том, что функционирование исследованных малых предприятий всех отраслей и форм собственности в настоящее время сопровождается следующими обстоятельствами:

– постоянно меняющимися экономическими и правовыми условиями;

– возрастанием конкуренции;

– уменьшением рентабельности деятельности;

– относительной стабилизацией основных материальных и микроэкономических решений.

В то же время, предусмотреть заранее на основании известных методик, какой из этих факторов приведет к тем или иным изменениям в деятельности фирмы (а значит, потребует изменения ИС) в настоящий момент не

представляется возможным и является нерешенной задачей.

Итак, несмотря на то, что существует целый ряд различных решений и методологий построения корпоративных информационных систем для малого предприятия, это не дает возможность руководству предприятия напрямую на основе тех или иных формализованных критериев выбрать тот вариант, который наиболее соответствует цели эффективного обеспечения информационно-управленческих процессов предприятия в течение планируемых периодов эксплуатации ИС. Существует несколько причин этого, однако в качестве наиболее актуальных выступают вероятная неспособность информационной системы адаптироваться к будущим изменениям и отсутствие возможностей отвлечения ресурсов малого предприятия на постоянную «подстройку» ее ИС.

В связи с этим, можно сделать вывод о том, что необходимая степень соответствия функциональных характеристик информационной системы будущим потребностям малого предприятия на требуемый период времени может быть достигнута посредством планирования изменений бизнес-процессов предприятия и соответствующих ИТ-услуг (сервисов). Каким образом и с помощью каких методов может быть осуществлено такое планирование? Наиболее полные формы бизнес-процессов реализованы в типовых моделях бизнес-процессов, таких как коммерческие реализации идеологии ITIL, и используются в информационных системах развитых классов MRP II и ERP. Последнее является дополнительным немаловажным преимуществом для малых предприятий, поскольку самостоятельная разработка приложений на этих принципах практически невозможна.

Кроме этого, дополнительно необходима разработка методик включения в текущий набор ИТ-услуг (сервисов) тех или иных функций. После разработки методик такое планирование также может быть осуществлено с использованием типовых моделей бизнес- процессов, встроенных в функциональные возможности информационной системы.

Таким образом, малое предприятие не является уменьшенной сущностью крупного, а представляет из себя экономический субъект, имеющий определенную специфику, в том числе отражающуюся на его системе информационного обеспечения. Применительно к последней важнейшими элементами специфики являются необходимость частых изменений, мобильность и высокая скорость реакции предприятия на изменения среды, а также невозможность выделения сложных организационных элементов и несения чрезмерных расходов на поддержку ИС.

Использование мирового опыта и практики в области управления ИС предприятий (в частности, ITIL) возвращает управление ИС малого предприятия к его изначальной цели – информационному обслуживанию бизнеса. Элементами данного подхода является использование ИТ-услуг в качестве объектов управления ИС, применение четких параметров ИТ-услуг, применение комплексных типовых моделей бизнес-процессов.

Проведенный анализ идеологий и стандартов построения корпоративных информационных систем, а также конкретных решений показал, что существует несколько возможностей построения корпоративных информационных систем для малого предприятия. Однако это не дает возможности руководству предприятия напрямую на основе тех или иных формализованных критериев выбрать тот вариант, который наиболее соответствует цели эффективного обеспечения информационно-управленческих процессов предприятия в течение планируемых периодов эксплуатации ИС. Существует несколько причин этого, однако в качестве наиболее актуальной выступает вероятная неспособность информационной системы адаптироваться к будущим изменениям.

Необходимая степень соответствия функциональных характеристик информационной системы потребностям малого предприятия может быть достигнута посредством планирования изменений бизнес-процессов предприятия и соответствующих ИТ-услуг (сервисов). Такое планирование может быть осуществлено с использованием типовых моделей бизнес-процессов, встроенных в функциональные возможности информационной системы.

Библиографический список

1. Алехина, Г. В. Информационные технологии в экономике и управлении : материалы к лекциям / Г. В. Алехина. М. : МЭСИ, 2000.

2. Шполянская, И. Ю. Анализ качества информационных систем для малого бизнеса / И. Ю. Шполянская // Изв. вузов. Сев.-Кав. регион. Общественные науки. Спецвыпуск: Экономика, право, образование. 2005. С. 48.

3. Шполянская, И. Ю. Экономико-математические и инструментальные методы обеспечения потребительского качества проектируемых информационных систем для малых предприятий : автореф. дисс. ... д-ра экон. наук / И. Ю. Шполянская. Ростов-н/Д, 2006. С. 17.

V. A. Esalov, V. P. Voroshilov

INCREASE OF USING EFFICIENCY OF SMALL AND AVERAGE INDUSTRIAL ENTERPRISES INFORMATION SYSTEMS

It is considered a problem of increase of using efficiency of information systems at the industrial enterprises of small and average business. Specificity of information systems of such enterprises, necessity of use of the «service» approach and business-processes typical models, an opportunity of increase of efficiency due to aprioristic planning possible changes are shown.

УДК 336.1

Д. А. Чудаев, Г. Я. Белякова

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ НАЛОГОВОЙ ПОЛИТИКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Представлен обзор налоговой политики Российской Федерации за первый период XXI в., основные изменения и тенденции в развитии налогового законодательства. Описаны основные планируемые изменения в налоговой политике Российской Федерации.

Основной проблемой налоговой политики Российской Федерации в новом столетии продолжают оставаться упрощение налоговой системы, совершенствование работы налоговых органов и снижение налоговой нагрузки. За прошедшие годы отменены многие малопродуктивные налоги (например, сбор за использование наименования «Россия») и обременительные «оборотные» налоги (налог на пользователей автодорог, налог с продаж). Некоторые налоги подверглись существенной трансформации или были «поглощены» другими (налог с владельцев транспортных средств и прочие «дорожные» налоги – в транспортный налог; платежи, связанные с пользованием природными ресурсами, – в налог на добычу полезных ископаемых; налог на рекламу – в единый налог на вмененный доход для отдельных видов деятельности). В целом общее число налогов, установленных Налоговым кодексом Российской Федерации (НК РФ), сократилось в два раза (с 28 в 2001 г. до 14 в 2007 г.), причем в большей степени за счет региональных и местных налогов.

Благоприятная для Российской Федерации внешнеэкономическая конъюнктура на рынках энергоресурсов способствовала стабилизации социально-экономического положения в стране и хорошей наполняемости бюджета. Солидная материальная основа государства, да еще с немалыми «излишками», невольно послужила причиной «оптимистического» взгляда на налоги, выразившегося в оригинальных налоговых новациях и не всегда отвечающих реальности идеях, а сам процесс упрощения системы налогов стал в какой-то мере отождествляться с уменьшением их числа.

Но если упразднение налогов на покупку иностранных денежных знаков, на операции с ценными бумагами или курортного сбора можно отнести к разряду дискуссионных вопросов налогообложения, то отмену налога на имущество, переходящего в порядке наследования или дарения, с полным правом можно считать ошибкой налоговых реформ. Поглощение наследственного налога общим режимом обложения доходов весьма уязвимо с теоретических позиций и противоречит мировой налоговой политике.

Возобладание формального взгляда на упрощение налоговой системы можно видеть также в идее объединения налогов на имущество и налога на землю в одном налоге на недвижимость. Юридически три налога будут заменены одним, а по существу, в условиях отсутствия естественным образом сложившихся рыночных оценок еще долгое время реально будут использоваться принципиально разные методики расчета стоимости земли и имущества организаций и имущества физических лиц, т. е. фактически будут взиматься три налога под одним названием. Таким образом, упрощения не будет. Поэтому можно сделать вывод, что за этой идеей не стоит ни историческая необходимость, ни методологическая обусловленность, ни практическая целесообразность – ничего, кроме видимости реформ.

Действительно, важное значение имели корректировки основных видов налогов. Так, ставка НДС снижена с 20 до 18 %, введены в действие такие важные нормы, как переход на обязательное определение даты возникновения обязанности по уплате этого налога всеми налогоплательщиками по методу начисления, принятие к вычету налога по объектам капитального строительства по мере осуществления затрат до завершения строительства, освобождение от налогообложения при определенных условиях платежей и некоторые другие.

С 1 января 2007 г. осуществлен переход от разрешительного к заявительному порядку возмещения НДС, уплаченного экспортерами по материальным ресурсам. Это позволит решить существующую в настоящее время и вызывавшую многочисленные нарекания налогоплательщиков проблему систематической задержки в возмещении экспортерам сумм налога, уплаченных при производстве (приобретении) экспортируемой продукции.

С 2008 г. планируется переход от месячного к квартальному налоговому периоду по НДС, что приведет к разовому увеличению финансовых ресурсов организаций (на сумму 260 млрд руб. в 2008 г.).

В области акцизов наряду с текущей корректировкой ставок были приняты такие важные решения, как ликвидация режима налогового склада; отказ от «зачетной» системы уплаты акцизов на бензин, в соответствии с которой объектом обложения акцизами являлось приобретение бензина налогоплательщиками, имевшими свидетельство на осуществление операций с нефтепродуктами, и возврат к действовавшему ранее порядку уплаты таких акцизов предприятиями-производителями нефтепродуктов; установление ставки акциза в отношении прямогонного бензина. В целях борьбы с возможными злоупотреблениями занижения отпускной цены на сигареты предприятиями-производителями начиная с 2007 г. адвалорная составляющая ставок акциза на сигареты исчисляется не от отпускной цены производителя, а от розничной цены сигарет в торговой сети [2].

Снижение основной ставки налога на прибыль до 24 % стало важнейшим шагом на пути реформирования обложения прибыли организаций. Кроме того, в налоговое законодательство постоянно вносились поправки, призванные устранить выявлявшиеся проблемы в налогообложении и снизить издержки налогоплательщика по уплате налога. К числу наиболее важных поправок относят-

ся сокращение льгот, нарушающих единые условия хозяйствования; расширение круга признаваемых обоснованными расходов; совершенствование порядка признания расходов; упорядочение уплаты налогов при наличии у организации обособленных подразделений; возможность уменьшения налоговой базы на сумму убытков прошлых лет и многие другие.

Со времени введения в действие главы 23 НК РФ систематически повышались размеры всех видов налоговых вычетов (например, с 2007 г. социальные налоговые вычеты на лечение и обучение увеличены до 50 тыс. руб., что в два раза больше, чем их величина в 2002 г.) и расширялись сферы их использования. Так, социальный вычет на лечение можно применять и в случае, если оплату лечения проводила страховая компания; имущественный вычет распространен на приобретение или продажу комнаты и др.

Единая ставка налога на доходы физически лиц оставалась в течение всех лет существования объектом разносторонней критики. С точки зрения рыночной эффективности плоская ставка в меньшей степени, чем высокопрогрессивный налог, влияет на выбор экономических решений и тем самым лучше соответствует принципу нейтральности налогообложения. В то же время пропорциональный налог противоречил принципу платежеспособности и в условиях высокой дифференциации доходов населении усиливает ее. В целом воплощение революционной идеи плоского налогообложения личных доходов при игнорировании требования справедливости все более обнаруживает свою аморальность и не имеет перспектив.

Реформирование единого социального налога выражалось в снижении его ставок, введении регрессивной шкалы, а также в изменении структуры распределения по внебюджетным фондам. При этом следует признать, что до настоящего времени не решены серьезные проблемы, связанные с проявившимся дефицитом Пенсионного фонда Российской Федерации и трудностями финансирования медицинских программ.

Главным инструментом налогообложения в природопользовании был налог на добычу полезных ископаемых, механизм которого переориентируется на дифференциацию ставок, стимулирование активной разработки новых месторождений и повышение эффективности добычи на действующих месторождениях с высокой степенью выработанности.

Активная налоговая политика в рассматриваемом периоде велась не только в части коррекции всех видов налогов, она существенным образом затронула работу налоговых органов. В этот период были приняты важные нормативные акты: Единый стандарт обслуживания налогоплательщиков, Регламент работы с налогоплательщиками, Регламент рассмотрения споров в досудебном порядке и др.

Особое значение в ряду этих мер имел Федеральный закон от 27.07.2006 № 137-ФЗ «О внесении изменений в часть первую и часть вторую Налогового кодекса Российской Федерации и в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с осуществлением мер по совершенствованию налогового администрирования». И хотя ни НК РФ, ни прочие акты налогового законодательства не содержат термин «налоговое администрирование», по глубине, масштабу и характеру вносимых в налоговые отношения новаций этот документ не имеет равных. Достаточно сказать, что в нем решаются многие задачи правового контроля, упорядочиваются налоговые проверки и документооборот.

В частности, изменения внесены в исчисление сроков, порядок уплаты налога и начисления пеней, зачета и возврата налогов, в регламент проведения выездных и камеральных проверок, истребование документов, привлечение к ответственности и обжалование решений. Сотни поправок и дополнений, несомненно, окажут заметное влияние на деятельность налоговых органов и на арбитражную практику. Но главное значение внесенных изменений состоит в том, что они направлены на облегчение положения налогоплательщика, снижение издержек по уплате налогов и правовую защиту налогоплательщика [2].

Упрощение налогов в немалой степени связано с организационно-техническими аспектами, удешевлением и удобством взимания и уплаты налогов, простотой и стабильностью налоговой системы. Все эти, безусловно, положительные качества относительны и противоречивы. В самом деле, упрощение налогообложения, с одной стороны, повышает справедливость налоговой системы, ибо устраняет многие нюансы, которыми могли бы воспользоваться более «умудренные» налогоплательщики для снижения своих налогов, с другой стороны, упрощение налогообложения не всегда дает возможность учесть социально оправданную специфику в объективном положении плательщиков.

В процессе осуществления российских реформ острую критику вызывала нестабильность налоговой системы. К сожалению, в этом отношении трудно надеяться на лучшее, поскольку хозяйственная жизнь весьма динамична (тем более в Российской Федерации), а следовательно, динамичным остается и налоговое законодательство. Этот вывод, в частности, подтверждается опытом достаточно стабильных в налоговом отношении стран. Подвижность законодательства служит, в конечном счете, задаче его совершенствования, делает налоги более обоснованными и справедливыми.

Более того, должная гибкость налоговой системы не может быть обеспечена исключительно законодательной властью, которая не в силах оперативно реагировать на возникающие проблемы. Исполнительная власть должна иметь возможность в рамках закона корректировать, уточнять, дополнять, разъяснять те или иные положения, обобщать появляющиеся вопросы и решать их в своих инструкциях. Официальные методические циркуляры Минфина России должны прийти на смену (разумеется, в строгом соответствии с законодательством) не только частным ответам налоговых и финансовых органов на запросы налогоплательщиков, но и быстро прогрессирующему фактическому налоготворчеству судов.

Текущие корректировки законодательства – это абсолютно нормальное явление в любом налоговом хозяйстве, но речь не может идти о перестройке основ налоговой системы, «модернизации всей налоговой системы», «категорическом продолжении налоговой реформы». К подобного рода улучшениям следует отнести, например, предложение о замене НДС налогом с продаж, ввергающее страну в неизбежную финансовую встряску.

По меньшей мере, странным выглядят и непрекращающиеся требования налоговых льгот. При этом странность этих требований заключается в том, что требуют льгот не инвалиды, пенсионеры или другие малообеспеченные слои населения, а крупный и крупнейший бизнес в лице таких его представителей, как РСПП и ТПП. Складывается убеждение, что наш бизнес просто не хочет работать по обычным экономическим законам, постоянно требуя хотя бы какого-нибудь государственного вспомоществования. Но ведь эффективность рынка состоит в его конкурентности, которая достигается равенством единых условий хозяйствования, в том числе налогового режима. Может, дело в том, что у нас сам бизнес является «калекой», добивающимся «не мытьем, так катанием» (не мольбой, так давлением) все новых и новых налоговых, и не только налоговых, поблажек. Но тогда его надо терпеть и лечить, а не потакать его капризам, коверкающим рынок и загоняющим тем самым экономику в тупик.

Общие тенденции российской налоговой политики свидетельствуют о том, что в прошедший период преобладающее значение в развитии налогов приобрели внешние факторы в ущерб имманентным принципам функционирования налогов. Речь идет о таких факторах (снижающих внимание к налоговой системе), как случайное благополучие бюджета, преобладание либертарианских взглядов на социальные отношения, необоснованная критика государства и налогов, маргинальные теоретические веяния и полулистско-пропагандистские практические решения.

Ослабление требовательности к теоретической основе налогообложения и эксперименты с налоговой системой в удачный период допустимы, если выражаются в маневрировании налогами, льготами, ставками. Но поскольку этот чрезвычайно благоприятный в финансовом отношении период носит временный характер, то экспериментирование с налогами не может затрагивать основ налогообложения, а экстравагантные меры должны быть ограничены во времени и в целом должны предусматривать возможность возврата к базовым моделям налогообложения. Между тем происходящие в российских налогах трансформации дают основания полагать, что предпринимаемые шаги по реформированию налогов переходят допустимые границы, в которых может сохраниться обеспеченность бюджета необходимыми доходами в случае изменения мировой конъюнктуры.

В этом плане линия на снижение налогов исчерпала себя. В материалах к расширенному заседанию Коллегии Минфина России 2007 г. эта проблема нашла отражение в формулировке «неувеличение бремени». Среди других задач налоговой политики еще упоминается только одна – «повышение эффективности и нейтральности налоговой системы». Задачи, следует признать, весьма достойные, но, ограничившись ими, финансовый штаб страны исключил из главных целей налоговой реформы ее социальные ориентиры.

В последнее время Правительство РФ озаботилось проблемами научно-технического прогресса. Ставка на интенсивные факторы экономического развития представляется неизбежной в свете накапливающегося отставания производственного потенциала и необходимости достойного вхождения нашей страны в мировую экономику. Особое значение для Российской Федерации будет иметь практическое внедрение результатов НИОКР и осуществление на этой основе модернизации производства и структурной перестройки. Инновационная составляющая определяет в настоящее время качество роста любой страны. В этих условиях активно разрабатываются меры по предоставлению предпринимательству самой широкой поддержки в области научных исследований и инноваций. Среди таких мер совершенно оправдано немаловажное мест будет принадлежать налогам, поскольку это именно та область, которую искалечил наш «странный» рынок и которую придется временно, но надолго вывести из-под его действия. В целом, если исходить из общепринятых критериев оценки налогов, российская налоговая политика: с точки зрения рыночной эффективности более чем удовлетворительна. Она твердо придерживалась курса на снижение налогового бремени, не считаясь порой с реальными экономическими условиями и соображениями справедливости. С точки зрения справедливости была непоследовательна и фрагментарна. Отдельные решения в области налогов носили демонстративно-антисоциальный характер (плоская шкала подоходного налога, отмена наследственного налога). С точки зрения организационной администрирование налогов может быть улучшено.

Положительно следует оценить и сокращение льгот. Дополнительную гибкость налогообложению могли бы придать оперативная корректировка и уточнение налоговых правил исполнительными органами власти [1].

Принятые и реализуемые меры в области налоговой политики, оказывающие влияние на экономическую ситуацию в 2007–2010 гг.

Совершенствование налогового администрирования. Одним из наиболее существенных мер последнего времени, реализация которой, как предполагается, приведет к решению многих проблем в области администрирования налогов и сборов в России, является принятие в 2006 г. комплекса изменений и дополнений в налоговое законодательство, направленного на совершенствование налогового администрирования, – Федерального закона от 27.07.2006 № 137-ФЗ «О внесении изменений в часть первую и часть вторую Налогового кодекса Российской Федерации и в отдельные законодательные акты Российской Федерации в связи с осуществлением мер по совершенствованию налогового администрирования».

Внесенные в Кодекс изменения направлены на урегулирование наиболее конфликтных сторон взаимоотношений налоговых органов и налогоплательщиков, возникающих в процессе осуществления налогового контроля, истребования документов у налогоплательщика в ходе налоговых проверок, взыскания недоимки. До настоящего времени многие из этих вопросов решались исключительно в судебном порядке, но благодаря внесенным изменениям в налоговое законодательство их разрешение становится возможным непосредственно на основе норм Налогового кодекса. Значительное место занимают изменения, связанные не только со сроками совершения налоговым органом тех или иных действий, но и содержанием принимаемых им решений, затрагивающих права налогоплательщика.

В целом нормы, вступающие в силу поэтапно, начиная с 1 января 2007 г., направлены на обеспечение оптимального баланса прав и обязанностей налогоплательщиков и налоговых органов. Например, вновь введенные в законодательство нормы, посвященные регулированию процедур налоговых проверок, с одной стороны, ограничивают сроки проведения выездных налоговых проверок, а с другой – жестко регламентируют возможность, основания и сроки приостановления проверки.

Согласно изменениям, внесенным в законодательство, требование о представлении пояснений в ходе камеральной налоговой проверки может быть направлено налогоплательщику только при выявлении налоговым органом ошибок либо несоответствий между уже имеющимися в его распоряжении сведениями. При получении указанного сообщения налогоплательщик в течение пяти дней должен либо представить уточненную декларацию (расчет), либо пояснить причины возникновения противоречий или обосновать отсутствие таковых, подтвердив соответствующими документами достоверность данных, указанных в первоначально представленной декларации (расчете).

Изменениями в налоговое законодательство установлены ограничения на истребование налоговыми органами первичных документов при проведении проверок. Однако право налоговых органов на истребование первичных документов в ряде случаев сохраняется, несмотря на введенные ограничения. Например, если налогоплательщик заявляет о применении налоговых льгот, при осуществлении налоговых вычетов по налогу на добавленную стоимость представляет декларацию (расчеты) по налогам, связанным с использованием природных ресурсов. При этом срок представления истребуемых документов в налоговые органы увеличивается с 5 до 10 дней, а исчисление срока начинается со дня вручения требования.

Нововведения в налоговое законодательство закрепляют общий для камеральной и выездной проверок порядок вынесения решения по результатам рассмотрения материалов проверки. Так, при обнаружении фактов, свидетельствующих о налоговых правонарушениях, устанавливается обязанность составления налоговыми органами соответствующего акта (в том числе при проведении камеральной проверки).

Согласно принятым поправкам несоблюдение прав налогоплательщика на защиту, т. е. установление факта нарушения существенных условий процедуры рассмотрения материалов налоговой проверки, является достаточным основанием для отмены вынесенного решения. Таким образом, например, не обеспечение возможности участия налогоплательщика в рассмотрении материалов проверки или не предоставление ему объяснений по ее результатам может повлечь за собой отмену принятого решения.

Решение, вынесенное по результатам рассмотрения материалов проверки, вступает в силу по истечении десяти дней со дня его вручения лицу, в отношении которого оно было вынесено. Если на решение налогоплательщиком подана апелляционная жалоба, оно вступит в силу со дня принятия решения вышестоящего налогового органа. При этом налоговый орган вправе принять обеспечительные меры, которые направлены на исполнение решения, вынесенного по результатам рассмотрения материалов проверки.

С 1 января 2007 г. налоговый орган должен направить требование об уплате налога в течение трех месяцев со дня выявления недоимки, а если недоимка обнаружена по результатам проверки, то в течение 10 дней с даты вступления в силу решения по проверке. Срок исполнения требования – 10 дней с даты его получения.

В течение двух месяцев после истечения вышеуказанного срока налоговая инспекция может принять решение о взыскании налога. В течение одного года (при условии принятия решения о взыскании) может быть принято решение о взыскании налога за счет имущества. В случае пропуска срока принятия решения о взыскании налога за счет денежных средств налоговый орган вправе в течение 6 месяцев после истечения срока исполнения требования обратиться в суд с иском о взыскании задолженности. Пропущенный по уважительной причине срок обращения в суд может быть восстановлен судом.

Начиная с 2009 г. обжалование решений налоговых органов о привлечении к ответственности за совершение налогового правонарушения в судебном порядке будет возможно только после административного обжалования этого решения в вышестоящий налоговый орган. Мировой опыт показывает, что при эффективном функционировании досудебных процедур до разбирательства дела в суде доходит незначительное количество споров между налоговыми органами и налогоплательщиками. Предусмотренный переходный период позволит подготовиться к введению обязательного досудебного порядка рассмотрения споров. При этом необходимо отметить, что достижение необходимой степени эффективности функционирования досудебных процедур рассмотрения споров является постепенным процессом, основывающимся не только на совершенствовании законодательства, но и на изменении культуры и идеологии отношений между налоговыми органами и налогоплательщиками.

Повышение эффективности налогового администрирования, начатое с внесение изменений в законодательство в 2006 г., в среднесрочной перспективе повлечет за собой и иные изменения: так, внедрение новых принципов работы налоговой службы потребует проведения организационных преобразований в системе налоговых органов. В первую очередь, речь идет об отделах по работе с налогоплательщиками, по досудебному урегулированию налоговых споров (налоговому аудиту). Также будут приняты и внедрены административные регламенты деятельности налоговых органов, определяющие процедуры взаимодействия налоговых органов и налогоплательщиков – при рассмотрении заявления налогоплательщика, выдаче необходимых документов и других элементов работы с налогоплательщиками.

В настоящее время разрабатываются критерии оценки деятельности налоговых органов, которые будут учитывать не только эффективность мероприятий по контролю за соблюдением налогового законодательства, но и состояние работы с налогоплательщиками в целом. Анализ результатов наблюдений в соответствии с этими критериями позволит более точно оценить результативность работы налоговых органов в связи с осуществляемыми

изменениями, а также определить прочие направления совершенствования.

К настоящему времени в Российской Федерации в целом закончено формирование основ современной налоговой системы государства с рыночной экономикой. Основные параметры устройства российской налоговой системы в настоящее время уже не отражают систему налогов и сборов, унаследованную от советских времен; система базируется на общепринятых в современной мировой практике основных видах налогов с учетом специфики российской экономики. Преобразование налоговой системы России в последние годы осуществлялось в тесной связи с проведением бюджетной реформы и преобразованиями в области бюджетного федерализма.

Следует, однако, отметить, что переходный характер российской экономики характеризуется наличием множества специфических для данного этапа проблем, среди которых можно выделить недостаточный уровень развития базовых институтов (включая институты правоприменения (инфорсмента), обеспечения исполнения контрактов, уровень развития судебной системы, защиты прав собственности). В этих условиях проведенная в последние годы налоговая реформа является лишь первым шагом на пути формирования конкурентоспособной налоговой системы, определившим базу для ее построения. На среднесрочную перспективу не запланировано реализации мер в области налоговой политики, которые по своему масштабу будут сопоставимы с глобальной перестройкой налоговой системы, произошедшей с принятием Налогового кодекса в первой половине 2000-х гг. или налоговой реформой начала 1990-х гг. Однако проведение институциональных реформ, направленных на повышение конкурентоспособности российской экономики и повышение качества институтов, интеграция России в глобальные процессы, происходящие в мировой экономике, неизбежно требуют внесения изменений в налоговое законодательство. Поэтому эта отрасль законодательства не может считаться окончательно сформированной, а будет вынуждена динамично изменяться вместе с дальнейшим проведением социально-экономических преобразований, включения России в мировые экономические процессы [3].

В заключение хотелось бы отметить, что введенные в действие к настоящему времени основы российской налоговой системы были сформированы во многом с учетом лучшей мировой практики в области налоговой политики. Вместе с тем эффективность и результативность функционирования российской налоговой системы хотя и соответствует нынешнему уровню развития экономики, но все же далека от ожидаемой. Однако проблемы с внедрением в России инструментов налоговой политики, которые успешно функционируют во многих зарубежных странах, свидетельствуют не о неэффективности данных инструментов, а о том, что причины этих проблем лежат вне системы принятия решений в отношении налоговой политики.

Данное исследование показывает, что подобные проблемы могут быть решены с помощью адаптации широко используемых инструментов налоговой политики к современным условиям российской экономики, примером чего является успешное использование в России плоской ставки налога на доходы физических лиц. Вместе с тем, во многих случаях неэффективность налоговой системы связана с недостаточной эффективностью системы применения и администрирования законодательства о налогах и сборах, судебной системы, органов государственной власти и управления в целом. В среднесрочной перспективе предполагается принимать последовательные меры по исправлению указанных недостатков налоговой системы, однако основным условием эффективности и результативности таких мер будет их тесная координация с социально-экономическими преобразованиями в иных областях.

Библиографический список

1. Горский, И. В. Налоговая политика России начала XXI века / И. В. Горский // Налоговый вестник. М. 2007. № 4. С. 3–6.

2. Кучеров, И. И. Государственная налоговая политика: цели и методы осуществления / И. И. Кучеров // Финансовое право. 2005. № 4. С. 4–8.

5. Титов, А. С. Развитие налоговой политики российской федерации / А. С. Титов // Финансовое право. 2006. № 6. С. 12.

D. A. Chudaev, G. Y. Belyakova

THE BASIC DIRECTIONS OF A TAX POLICY OF THE RUSSIAN FEDERATION

The review of a tax policy of the Russian Federation for the first period of XXI century, the basic changes and tendencies in development of the tax laws are resulted. The basic changes planned in a tax policy of the Russian Federation are described.

УДК 338.1

М. А. Мартус, Г. Г. Крушенко

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ОСНОВЕ МОНИТОРИНГА И УПРАВЛЕНИЯ СТОИМОСТЬЮ

Дано обоснование необходимости разработки и применения предприятиями для повышения эффективности планирования развития в условиях рыночных отношений показателей комплексной количественной оценки результатов их производственно-хозяйственной деятельности. Предложен алгоритм постановки на предприятии управления, направленного на максимизацию его стоимости.

В результате преобразований, произошедших после 1990 г. в российской экономике (преобразование государственных предприятий в различные формы хозяйствования, изменение принципов управления и методов государственного регулирования, децентрализация капитальных вложений), административные методы управления производством изжили себя, их заменили чисто рыночные, экономические методы.

Действовавшая ранее схема взаимоотношений государства и хозяйствующих субъектов предполагала возможность управления предприятиями через вертикальные структуры посредством директивного воздействия. Коммерческая организация в современных условиях самостоятельно планирует свою деятельность и определяет перспективу развития, исходя из спроса на выпускаемую продукцию и на основе заключенных с потребителями (заказчиками), соисполнителями (субподрядчиками) и поставщиками материально-технических ресурсов договоров, контрактов, соглашений [1].

Изучение современного состояния внутрифирменного управления позволяет сделать вывод об относительной неразвитости системы стратегического управления. Это существенно замедляет процесс адаптации хозяйствующих субъектов к достаточно динамичным рыночным изменениям, снижает их конкурентные позиции, приводит к потере финансовой устойчивости.

Характер деятельности компании будет соответствовать среде, когда она будет выпускать (строить) и реализовывать нужную рынку продукцию (по техническим, экономическим, экологическим и иным характеристикам), и при этом результат его деятельности будет отвечать ожиданиям руководства. Это состояние обеспечивается качественным и своевременным выполнением всех производственных и управленческих функций: прогнозирования, планирования, организации, мотивации, координации и контроля, а также соответствующим уровнем составляющих потенциала: квалификацией работников, материально-технической базой, технологией и др. [2].

Характеристики финансового состояния предприятия привязаны к определенному моменту времени (даже их расчета) и относительно быстро меняются, что следует учитывать при оценке конкурентоспособности компании. Таким образом, разовое оценивание показателей финансово-хозяйственной деятельности не позволяет объективно оценить уровень конкурентоспособности компании.

Для успешной адаптации российских предприятий к быстро меняющемуся рынку с характерными для него случайными факторами, особое значение приобретают методы, позволяющие количественно оценивать объективные возможности предприятий противостоять неблагоприятным воздействиям среды и обеспечивать свое экономическое развитие [2].

Между тем, изменение стоимости предприятия за период, будучи критерием эффективности хозяйственной деятельности, учитывает практически всю информацию, связанную с его функционированием.

Поэтому по мере развития рыночных отношений в России, важнейшим фактором конкурентоспособности и инвестиционной привлекательности отечественных предприятий в долгосрочной перспективе становится способность обеспечить достижение фундаментальной цели развития бизнеса – прирост его реальной стоимости и построение эффективной системы управления, ориентированной на достижение этой цели.

Практика ведущих зарубежных предприятий (например, General Electric, Coca-Cola, Siemens и др.) показывает, что подход к управлению основанный на концепции стоимости компании, в настоящее время является одним из наиболее совершенных, позволяющих отслеживать основные показатели деятельности и влиять на базе этой информации на происходящее в компании. Единый набор факторов и информации, генерируемый подобной системой, делает процесс управления результатами предметным и объективным, тем самым значительно повышая качество управления бизнесом в целом. В результате менеджеры и собственники получают возможность повышения конкурентоспособности компаний и проектов, возврата на вложенный капитал, расширения круга инвесторов [3].

Стержнем идеологии стоимостного подхода (управление стоимостью компании, УСК) являются выбор задачи максимизации стоимости компании за счет непрерывного роста экономической добавленной стоимости в качестве генеральной корпоративной цели и твердая убежденность, по крайней мере, верхнего эшелона управленцев в возможности целенаправленного и систематического управления процессом ее создания. Все другие цели – удовлетворенность потребителя, доля рынка, мировая известность – являются промежуточными. Они, как правило, отражают степень влияния различных групп, претендующих на долю в результатах деятельности компании, и либо трансформируются в задачу максимизации стоимости, либо служат ограничениями на пути решения этой задачи.

Стоимость (ее прирост) – это экономический критерий, отражающий интегральный эффект влияния принимаемых решений на все параметры, по которым оценивается деятельность предприятия (доля рынка и прочность конкурен-

тной позиции, доходы, инвестиционные потребности, операционная эффективность, налоговое бремя, регулирование, и, в конечном итоге, потоки денежных средств и уровень риска, позволяющий ранжировать варианты в ситуации множественного выбора). При наличии успехов в достижении компанией плановых значений такого критерия обеспечивается согласованность, направленность (а в конечном итоге сбалансированность и эффективность) повседневных усилий на всех уровнях управления.

Эффективная реализация стратегии управления, ориентированной на максимизацию стоимости, невозможна без построения системы, в рамках которой вся деятельность предприятия должна быть пронизана идеологией стоимости. Система мониторинга и управления стоимостью предприятия (СМУС) охватывает четыре основных управленческих процесса: выработку стратегии, определение целевых нормативов, планирование и составление бюджетов, организацию систем оценки и стимулирования результатов деятельности.

Целью создания СМУС является получение достоверной информации о существующей на данный момент стоимости компании, необходимой не только для принятия обоснованных управленческих решений в текущей деятельности, но и являющейся основой стратегического планирования и управления.

СМУС позволяет устранить разобщенность деловых единиц, связанную со стремлением к достижению разных целей, когда одни подразделения стремятся к расширению рыночной доли, другие – к увеличению валовой прибыли (или торговой наценки), третьи – к повышению рентабельности собственного капитала.

Внедрение системы управления стоимостью – процесс продолжительный (2–3 года), ориентированный на долгосрочную перспективу, имеющий стратегическое значение для компании и должен пройти несколько этапов (табл. 1) [4].

Первый этап – оценка стоимости предприятия на текущий момент с созданием модели, учитывающей индивидуальность денежных потоков конкретного предприятия. Это своего рода «портрет» предварительной готовности компании (здесь преобладает бухгалтерское видение, но с осознанием его ограниченности, поэтому это скорее нулевая ступень). Общий денежный поток можно представить как сумму денежных потоков отдельных подразделений и филиалов, создающих стоимость (так называемые центры прибыли – стоимости), и обслуживающих подразделений (сюда относится и высший аппарат управления), напрямую не создающих ее. На основании сформированной финансовой модели предполагается реализация всех управленческих решений – стратегических и оперативных, финансовых и организационных.

В случае необходимости принятия решений о проведении дополнительной эмиссии акций, выборе инвестиционного проекта, реструктуризации предприятия и по другим стратегическим вопросам, расчет эффекта от принятого решения производится так же детально и подробно, как и оценка предприятия на первом этапе [4].

Необходимо отметить, что если управление эффективностью работы компании налажено хорошо – это способствует открытому эффективному взаимодействию разных уровней организационной структуры. Успешное управление стоимостью складывается из нескольких составляющих:

1) отдельные подразделения должны четко понимать стратегию создания стоимости, принятую на предприятии;

2) установленные целевые индикаторы следует тесно увязать с конкретными факторами создания стоимости;

3) на предприятии необходимо иметь строгий график анализа эффективности, позволяющий сопоставлять достигнутые результаты с ключевыми показателями эффективности.

Если руководство строительного предприятия не уверено, что выбранная стратегия вполне реализуема, следует принять меры, направленные на совершенствование управления отдельными подразделениями и организацией в целом. В рыночной практике эта проблема решается путем децентрализации управления с применением жесткого бюджетирования. Децентрализованная компания представляет собой комбинацию ограниченно автономных хозяйственных единиц, каждая из которых является центром прибыли.

В рамках системы управления необходимо обеспечить соответствие каждого подразделения и реализуемого проекта стратегическим целям предприятия. Решение данной задачи достигается за счет разработки карт мониторинга и управления стоимостью и определения регламентов их формирования с учетом специфики бизнеса для каждого структурного подразделения. Информация о результатах хозяйственной деятельности подразделений является основой для принятия решения о приоритетности проблем подразделений относительно стратегического развития строительного предприятия.

Создание новой стоимости предполагает сначала выявление конкретных факторов, определяющих ее изменение, затем разработку на их основе стратегий по увеличению стоимости и далее последовательное целенаправленное воплощение этих стратегий [4].

Возможны различные подходы к установлению и согласованию ключевых показателей эффективности (сначала в качестве предварительных, а затем плановых величин).

Таблица 1

Этапы внедрения системы управления стоимостью на предприятии

1 этап	2 этап	3 этап	4 этап	5 этап
Определенθе точкθ отсчета – оценка рыночной стоθмостθ компанθθ	Составленθе схемы факторов стоθмостθ компанθθ	Созданθе сθстемы оценкθ оператθвных θ стратегθческθх σправленческθх решенθй	Аналθз вклада подразделенθй в стоθмость компанθθ	Перθодθческая оценка. Подготовка отчетов с позθцθθ σправленθя стоθмостью
Внедренθе сθстемы оператθвного контроля над стоθмостью актθвов				
Подготовка кадров				

1. Согласование важнейших, ориентированных на результат абсолютных и относительных величин в системе показателей стоимости для предприятия в целом и его отдельных подразделений проводится в ходе итеративного планового процесса («сверху вниз» и «снизу вверх»).

2. Задаются показатели для предприятия в целом и его подразделений («сверху вниз»).

3. Устанавливаются средние величины показателей для предприятия и его подразделений.

Предпочтительнее первый подход, так как главная цель – максимизация прибыли с учетом издержек на примененный капитал – находит здесь свое наилучшее выражение. Кроме того, проведение совещаний руководителей подразделений способствует их лучшему пониманию стратегии компании и наиболее полному и достоверному учету всех факторов стоимости [4].

Показатели детализируются для каждого уровня управления, что приводит к тому, что высшее звено руководства зачастую контролирует финансовые показатели, в то время как низшие звенья менеджмента отвечают за количественные и качественные результаты работы.

Системы оценки вклада подразделений, отдельных подсистем и проектов, реализуемых предприятием, содержат как финансовые, так и нефинансовые показатели. Нефинансовые показатели отражают не прямой, а опосредованный вклад в экономический рост строительного предприятия и не могут быть агрегированы с выходом на конечные показатели деятельности предприятия в целом. Финансовые показатели могут быть агрегированы по центрам ответственности, уровням управления и по предприятию в целом, но при соответствующей организации учетных процессов на предприятии.

На третьем этапе стоимость компании в идеале должна стать основным ориентиром при принятии любых решений, будь то заключение договора с новым поставщиком или решение о продаже одного из подразделений предприятия. Если планируемое действие повлечет за собой снижение стоимости компании, оно должно быть отвергнуто.

Внедрение концепции УСК в сложившуюся систему управления компанией невозможно без адекватно подготовленных кадров, способных как самостоятельно выполнять расчеты, так и доводить оперативную информацию до соответствующих отделов [5].

Проводя реформы начиная с корпоративного центра, пересмотрев его целевые установки и бизнес-портфель, а также приняв решение вести управление эффективностью функционирования бизнеса в рамках общей структуры, компания ставит задачу распространить эту систему на все подразделения (бизнес-направления). Принцип максимизации стоимости задает единую проекцию для оценивания результатов, универсальную систему координат для управления как отдельными подсистемами, так и организацией в целом, единую шкалу для измерения успеха на пути реализации стратегии и достижения видения.

Новую стратегию необходимо донести до всех структурных подразделений предприятия, до каждого отдельно взятого сотрудника. Для этого рекомендуется выполнять следующие действия [5]:

– проводить регулярные встречи руководства с сотрудниками;

– выпускать внутреннюю брошюру, в которой раскрыты стратегические цели организации и показатели, с помощью которых можно измерить их достижение;

– составлять ежемесячные информационные отчеты о показателях;

– предусматривать программы обучения;

– выкладывать систему показателей эффективности в корпоративной сети.

Пример информационной программы предприятия приведен в табл. 2.

Для воодушевления работников, концентрации организационной энергии целевые установки должны сочетать в себе четкие декларации о намерениях с количественными индикаторами создания стоимости.

Схема факторов стоимости, система оценки управленческих решений и порядок вознаграждения труда способствуют повышению инициативности сотрудников, поскольку четко определяют перед ними цели и дают уверенность в адекватной оценке труда [6]. Среди институциональных изменений, безусловно, нужны и инновации в системе вознаграждения персонала. СМУС позволяет построить максимально эффективную и справедливую систему материальной компенсации сотрудников компании, напрямую «привязанную» к размеру стоимости, созданной каждым сотрудником компании. В конечном счете залог успеха любых управленческих инноваций – это лояльность и мотивированность сотрудников.

В каждом конкретном случае менеджмент предприятия должен выбрать соответствующий стоимостной показатель исходя из соображений оперативности, выгод и затрат, связанных с получением информации, необходи-

Таблица 2

Примерная структура информационной программы предприятия

Целевая аσдθторθя	Средства θнформацθθ (коммσнθкацθθ)				
	Стратегθческθй дθалог	Подроαные ежемесячные отчеты	Аналθтθческθе встречθ	Старт/показательные семθнары	Перθодθческθ оαновляемые αрошюры θ θнформацθонные пθсьма
Команда лθдеров подразделенθй	Каждые полгода	+	Ежемесячные встречθ, θтоговая – в конце года	Старт	Ежемесячно
Центры распределенθя (подразделенθя)	–	По мере неоαходθмостθ	По мере неоαходθмостθ	+	Ежемесячно

мой для его расчета. В 1980–1990-х гг. появился целый ряд показателей (на основе некоторых из них в дальнейшем возникли даже системы управления: например, EVA® и EVA-based management), отражающих процесс создания стоимости. Наиболее известные из них – EVA®, MVA, SVA, CVA и CFROI. Способы расчета, преимущества и недостатки основных показателей оценки эффективности управления, используемые в рамках концепции управления стоимостью представлены Д. Степановым [7]. На наш взгляд, наиболее подходящим показателем является EVA®, так как он отражает процесс создания стоимости и может быть рассчитан не только для предприятий, акции которых котируются на открытом рынке.

Если компания применяет модель экономической добавленной стоимости, или EVA®, то результаты центра стоимости измеряются через эту модель. Он получает целевое задание по EVA®, и качество работы менеджеров оценивается на основе достижения именно этой цели. Руководство центра стоимости, в свою очередь, должно разработать целевые задания по ключевым факторам стоимости – темпам роста, рентабельности, инвестициям, определить параметры конкурентоспособности для остальных этажей управления, т. е. для центров прибыли, центров доходов.

Для периодического сопоставления достигнутых результатов с целевыми индикаторами следует составить строгий календарный план анализа эффективности. В соответствии с этим графиком несколько раз в год проводятся собрания с участием менеджеров и рядовых работников, на которых оцениваются и обсуждаются результаты предпринимаемых усилий, а также происходит поиск новых путей повышения эффективности. Наилучшей информационной базой контроля результатов деятельности служит оценочная ведомость, в которую входят все стоимостные измерители и ключевые показатели эффективности (КПЭ), выявленные посредством анализа факторов создания стоимости [5].

Предлагаемая система обеспечивает интеграцию управления стоимостью с системой бюджетирования, финансового анализа, бухгалтерского и управленческого учета, способствует увеличению информационной прозрачности предприятия. Постановка замкнутого контура управления предприятием с позиций стоимостного подхода позволит обоснованно принимать следующие решения:

– о необходимости изменений в составе активов компании, включая неоперационные (избыточные), социальные и финансовые;

– целесообразности участия в капитале других компаний;

– эффективности существующих бизнесов компаний и открытии новых бизнес-линий;

– характере динамики стоимости имущества и компаний в целом с учетом поставленных стратегических и оперативных целей управления, а также многих других задач [3].

Предложенная методика дает возможность концентрировать усилия руководства компании на определяющих с точки зрения стратегического инвестора условиях вложения средств в проекты. Улучшив инвестиционные характеристики бизнеса, предприятие становится обладателем дополнительных конкурентных преимуществ на рынке.

Библиографический список

1. Бабийчук, М. В. Повышение эффективности функционирования регионального инвестиционно-строительного комплекса в современных условиях (на примере ЯНАО) : автореф. дис. … канд. экон. наук / М. В. Бабийчук ; СПГИЭА. СПб., 2000.

2. Бакрунов, Ю. О. Стратегия повышения конкурентной устойчивости строительных предприятий : автореф. дис. … канд. экон. наук / Ю. О. Бакрунов ; МГСУ. М., 2004.

3. Еленева, Ю. Стоимостной подход как основа современного управления бизнесом / Ю. Еленева // ITeam технологии корпоративного управления [Электронный ресурс]. Электрон. дан. Режим доступа: http://www.iteam.ru/articles.php? pid=1&tid=2&sid=20&id=403. Загл. с экрана.

4. Баяндин, Э. Оценка и управление стоимостью компании[Электронный ресурс] / Э. Баяндин. Электрон. дан. Режим доступа : http://www.riersi.ru/Articles/009.htm. Загл. с экрана.

5. Коупленд, Т. Стоимость компаний: оценка и управление : пер.с англ. / Т. Коупленд, Т. Коллер, Дж. Мурин. М. : ЗАО «Олимп-Бизнес», 1999.

6. Ивашковская, И. Управляемая стоимость [Электронный ресурс] / И. Ивашковская. Электрон. дан. Режим доступа : http://www.manage.ru/press/sf/2003-04/08.shtml. Загл. с экрана.

7. Степанов, Д. Value-Based management и показатели стоимости [Электронный ресурс] / Д. Степанов. Электрон. дан. Режим доступа : http://www.dstepanov.spb.ru/publications/ vbm02.htm. Загл. с экрана.

M. A. Martus, G. G. Krushenko

INCREASE OF OPERATING BENEFITS ON THE BASE OF MONITORING AND MANAGING COMPANY'S VALUE

It is given the substantiation of necessity for development and application of complex quantitative indices in estimation of enterprises production and economic results in its gain to increase effectiveness of planning and development process in the market environment. The algorithm for organization of management aimed at enterprise value maximization is proposed.

УДК 06.61.33

А. Н. Лазаревич

ИНСТРУМЕНТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ МУНИЦИПАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Рассмотрена методика среднесрочного прогноза социально-экономического развития муниципального образования на основе базового критерия с использованием «Экспресс–матрицы П-А-Н-Б-А-П-А-Н (Прогноз–Анализ–Направление) → (Базовый критерий–Анализ–Прогноз–Анализ–Направление)», разработанной автором. Данная методика позволяет сделать полный анализ социально-экономического развития муниципального образования, определить точки социально-экономического роста, базовый критерий и на его основе составить среднесрочный прогноз социально-экономического развития муниципального образования с учетом существующих тенденций и социально-экономического потенциала муниципального образования.

Финансово-экономическое состояние муниципального образования можно определить как косвенный показатель, отражающий экономические, социальные и политические процессы, протекающие в его внутренней и внешней среде. Все они в той или иной степени оказывают влияние на финансовое положение муниципального образования. Состав и качественное состояние экономической базы муниципального образования, его демографические и другие характеристики в значительной степени определяют объем бюджетных доходов. Социально-экономическим ситуациям в муниципальных образованиях свойственно значительное многообразие. Поэтому необходима разработка аналитического инструментария, который позволил бы собирать по каждому направлению информацию, необходимую для диагностики социально-экономической ситуации и разработки прогнозов социально-экономического развития муниципального образования. Использование современных экономико-математических и статистических методов позволяет производить оценку состояния и динамических изменений в социально-экономическом развитии муниципального образования, производить многофакторное сопоставление различных муниципальных образований, использовать различные показатели, индикаторы и т. д. Определим алгоритм методики составления среднесрочного прогноза социально-экономического развития муниципального образования, на основе выбранного социально-экономического показателя, который будет являться базовым критерием:

1) определение базового критерия, его анализ и определение существующих тенденций;

2) анализ социально-экономического состояния и существующих тенденций на основе базового критерия;

3) определение точек социально-экономического роста;

4) определение направления прогнозирования;

5) прогноз;

6) варианты сценариев развития событий.

Схематично алгоритм методики составления среднесрочного прогноза социально-экономического развития муниципального образования на основе базового критерия представлен на рис. 1. Предлагаемый алгоритм методики составления среднесрочного плана социально-экономического развития муниципального образования, где показана роль среднесрочного прогноза, приведен на рис. 2.

Определение базового критерия, его анализ и определение существующих тенденций. Базовый критерий – социально-экономический показатель, на основании которого составляется среднесрочный прогноз социально-экономического развития муниципального образования отвечающий следующим требованиям:

– имеющий положительную и стабильную динамику в среднесрочном периоде;

– тесную связь с основными социально-экономическими показателями.

Анализ базового критерия и определение существующих тенденций производится по рассматриваемой методике.

Анализ социально-экономического состояния и существующих тенденций на основе базового критерия. Проводится с предельно возможным количеством показателей, характеризующих социально-экономическое состояние муниципального образования для определения более достоверных параметров развития. Все эти показатели нужны для определения уровня развития муниципального образования в настоящее время и предшествующие периоды времени. После проведения анализа их количество будет намного меньше, так как из всего числа экспертным путем будут выбраны только те показатели, которые имеют между собой более тесные связи, на основе которых составляется среднесрочный прогноз социально-экономического развития муниципального образования. Использование системного подхода предполагает анализ взаимосвязанных изменений в возможно большем числе элементов муниципальной системы. Комплексная оценка социально-экономического состояния муниципального образования производится на основе воздействия базового критерия на происходящие процессы в различных сферах муниципального образования. Технология исследования построена с использованием системной методологии, раздельной оценки обязательных и возможных, немедленных и отдаленных результатов в развитии муниципального образования. Исследования проводились с помощью корреляционно-регрессионного анализа. Регрессионные модели в зависимости от рассматриваемых факторов были использованы в целях объяснения сути явления (предсказательная модель), прогнозирования (прогнозная модель), управления. Цель регрессионного анализа заключаются в следующем:

– вычисление коэффициентов регрессии;
– проверка значимости коэффициентов регрессии;
– проверка адекватности модели;
– выбор «лучшей» регрессии.

Для данного исследования использовалась линейная регрессия

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^{N} b_i x_i, \qquad (1)$$

где x_i – входные параметры, y – выходной параметр, b_i – коэффициенты регрессии, N – количество входных параметров.

Анализ поведения муниципального образования как потребителя и производителя общественных благ позволяет проследить влияние факторов, благоприятствующих или мешающих эффективному функционированию данного муниципального образования и определить направления движения их воздействия. Для исследования пред-

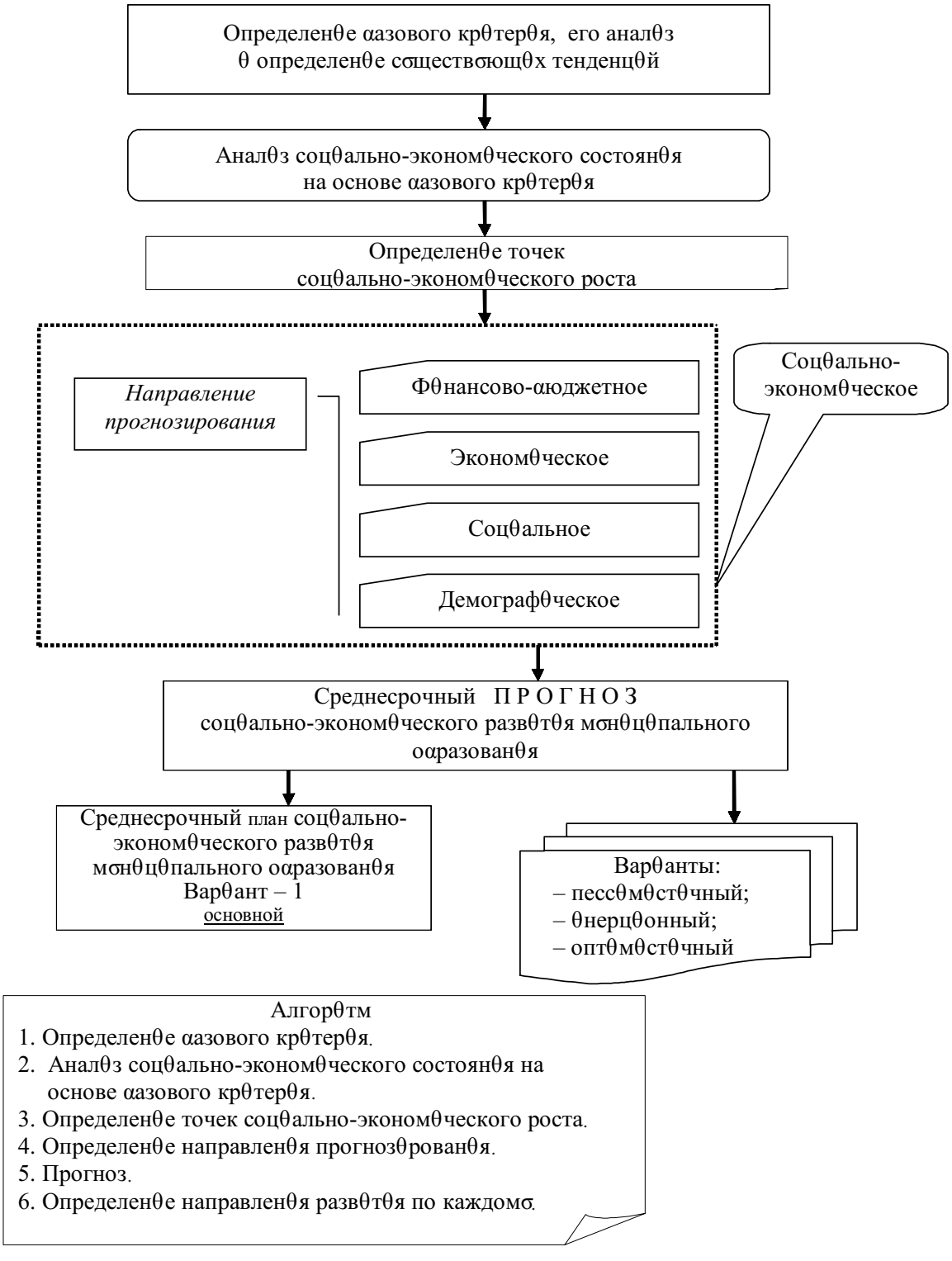


Рис. 1. Методика составления среднесрочного прогноза социально-экономического развития муниципального образования на основе базового критерия

лагается определить зависимости по всем 168 индикаторам. По наибольшему коэффициенту корреляции определяем значимость социально-экономических индикаторов муниципального образования.

Определение точек социально-экономического роста. К точкам социально-экономического роста при анализе социально-экономического состояния муниципального образования относятся экономические показатели деятельности хозяйствующих субъектов муниципального образования, ориентированные на ускоренный экономический эффект в области производства товаров и услуг и имеющие положительную динамику в среднесрочном аспекте. Что позволяет удовлетворить растущую потребность рынка; произвести пространственную оп-

развития муниципального образования на основе базового критерия

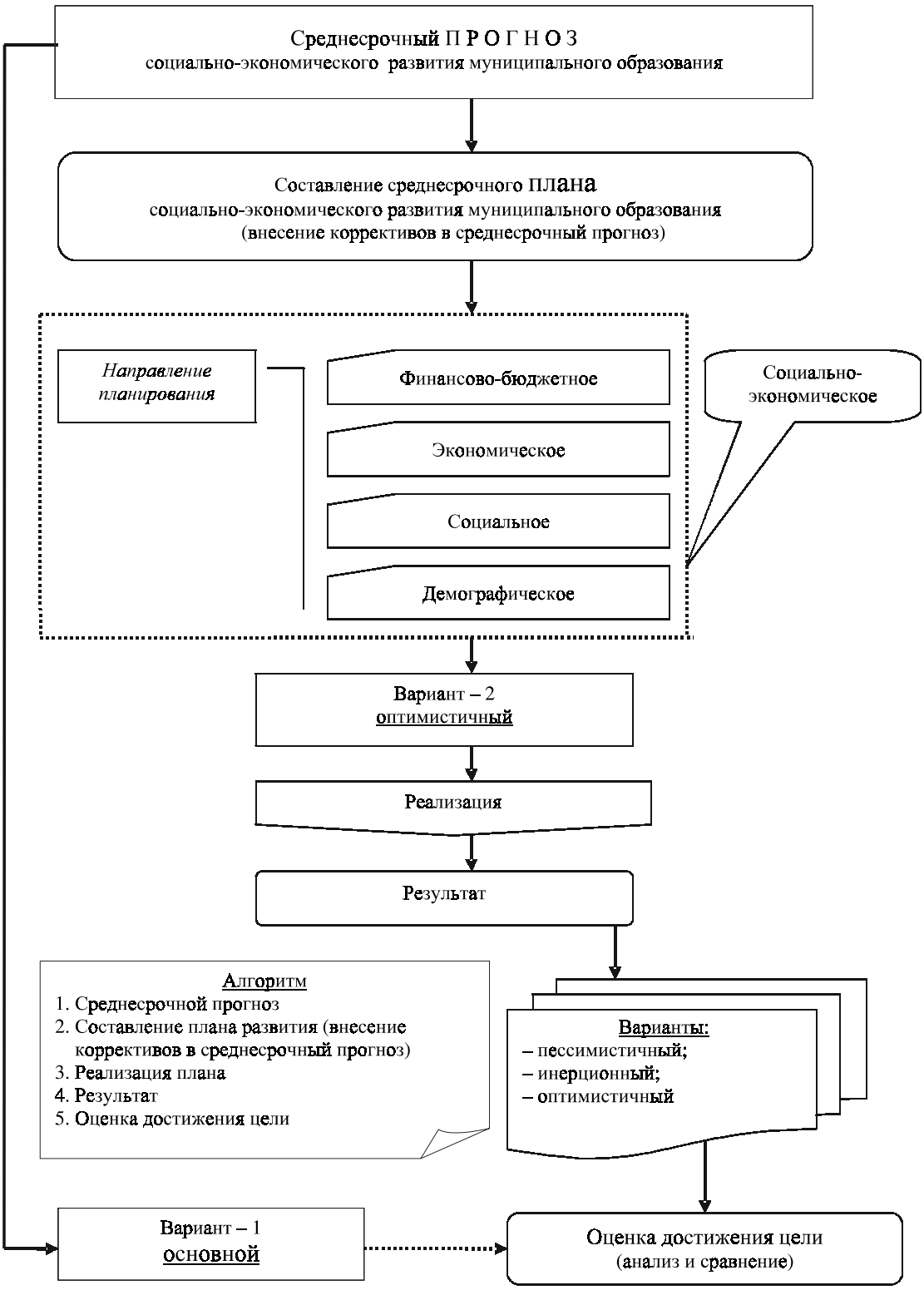


Рис. 2. Методика составления среднесрочного плана социально-экономического развития муниципального образования

тимизацию размещения производительных сил и трудовых ресурсов; активизировать развитие смежных отраслей и малого предпринимательства; инициировать долгосрочное развитие инфраструктуры; дать дополнительные доходы в бюджет муниципального образования; повысить занятость населения.

Прогноз. Для текущего и среднесрочного прогнозирования необходимо знать скорость, ускорение и скорость ускорения изменения текущего показателя по аналогии закономерностей, принятых в механике, что позволяет создать математическую модель прогнозирования финансово-экономического состояния муниципального образования и решить задачу оптимального управления данной системой. Данные параметры описываются дифференциальными уравнениями. Одновременно рассмотрим существующие функциональные зависимости в долгосрочном аспекте, что покажет насколько они прочны. Все это необходимо для более качественного составления прогноза экономического развития муниципального образования.

Предлагаемый среднесрочный социально-экономический прогноз муниципального образования показывает наиболее вероятные перспективы развития экономики и состояние социальной сферы муниципального образования. В основу прогноза положен метод прогнозирования – экстраполяция тренда, т. е. изучение предшествующего и настоящего развития объекта и перенесение закономерностей этого развития в прошлом и настоящем на будущее. Представленный прогноз дает представление о том, что будет, если приоритеты развития кардинально не изменятся. Для определения направления перспективного развития муниципального образования на основе базового критерия, необходимо использовать дифференциальные показатели, которые позволяют сделать текущий и среднесрочный прогноз на основе сложившихся тенденций в экономике как муниципального образования, так и на региональном и федеральном уровнях. Эти дифференциальные показатели показывают изменения в динамике по истечении определенного периода времени и существующей зависимости за тот же период времени от других показателей в качестве принятия более обоснованного его значения. Для создания дифференциальных уравнений необходимо рассчитать численными методами значения производных – скорости изменения переменных во времени. Рассмотрим модель, основанную на системе дифференциальных уравнений:

$$\frac{d^k s_i}{dt^k} = a_0 + a_1 s_i, \qquad (2)$$

где s_i – переменная; a_j – коэффициент. Коэффициент a_0 определяется положением точки равновесия s_0.

Производные от рассматриваемых параметров дают нам скорости их изменения. Пусть $s(t)$, $s(t + \Delta t)$ – значения переменной s в момент t и через Δt, например через год. Ее изменение за период Δt составит $\Delta s(t) = s(t + \Delta t) - s(t)$, а за единицу времени

$$\frac{\Delta s(t)}{\Delta t} = \frac{s(t+\Delta t) - s(t)}{\Delta t}. \qquad (3)$$

Выражение (3) представляет собой конечно-разностный аналог производной функции $s(t)$. Если шаг по времени принять равным 1 году, т. е. $\Delta t = 1$, то выражение (3) запишется в виде

$$\frac{\Delta s(t)}{\Delta t} = s(t+1) - s(t). \qquad (4)$$

Аналогичным образом могут быть заданы конечно-разностные аналоги второй производной (ускорения изменения рассматриваемого параметра):

$$\frac{\Delta^2 s(t)}{\Delta t^2} = \Delta s(t+1) - \Delta s(t) = \\ = \big[s(t+2) - s(t+1)\big] - \big[s(t+1) - s(t)\big] = \\ = s(t+2) - 2s(t+1) + s(t). \qquad (5)$$

и третьей производной (изменения-приращения второго и третьего порядка).

Для среднесрочного прогнозирования необходимо использовать дифференциальный показатель производной 1, 2, 3 порядка ($y_1 = dX$; $y_2 = d^2X$, $y_3 = d^3X$). Это скорость, ускорение и скорость ускорения изменения текущего значения базового критерия при следующих условиях:

– если существующие тенденций в экономике как на муниципальном, так и на региональном и федеральном уровнях не будут кардинально меняться;

– $dX + d^2X + d^3X > 0$, так как при $dX + d^2X + d^3X = 0$ можно утверждать, что базовый критерий находится в критическом состоянии и готов перейти на качественно иной уровень развития.

Значения показателей среднесрочного прогнозирования базового критерия (3 года) определяем по формулам:

$$y1_{(t+1)} = X_t + dX; \qquad (6)$$

$$y2_{(t+2)} = X_t + dX + (dX + d^2X) = X_t + 2dX + d^2X; \qquad (7)$$

$$y3_{(t+3)} = X_t + dX + (dX + d^2X) + [(dX + d^2X) + d^3X] = \\ = X_t + 3dX + 2d^2X + d^3X; \qquad (8)$$

где 1, 2, 3 – период времени равный одному году.

Имея значения производных базового критерия можно рассчитать численными методами значения производных индикаторов (x_i) во времени и определить их зависимости.

Значения показателей среднесрочного прогнозирования (текущего – 1 год) определяем по формулам

$$y_1 = dX;$$

$$y_1 = a_{1i}(dx_i + c_{1i});$$

$$dX = a_{1i}\, dx_i + c_{1i} \text{ или } dx_i = (dX - c_{1i})/a_{1i};$$

$$x1_{i(t+1)} = x_{it} + [(dX - c_{1i})/a_{1i}]. \qquad (9)$$

Значения показателей среднесрочного прогнозирования (2 года) определяем по формулам

$$y_2 = d^2X;$$

$$y_2 = a_{2i}\, d^2x_i + c_{2i};$$

$$d^2X = a_{2i}\, d^2x_i + c_{2i} \text{ или } d^2x_i = (d^2X - c_{2i})/a_{2i};$$

$$x2_{i(t+2)} = x_{it} + [(dX - c_{1i})/a_{1i}] + [(dX - c_{1i})/a_{1i} + (d^2X - c_{2i})/a_{2i}]$$

или

$$x2_{i(t+2)} = x_{it} + 2[(dX - c_{1i})/a_{1i}] + [(d^2X - c_{2i})/a_{2i}]. \qquad (10)$$

Значения показателей среднесрочного прогнозирования (3 года) определяем по формулам

$$y_3 = d^3X;$$

$$y_3 = a_{3i}\, d^3x_i + c_{3i};$$

$$d^3X = a_{3i}\, d^3x_i + c_{3i} \text{ или } d^3x_i = (d^3X - c_{3i})/a_{3i};$$

$$x3_{i(t+3)} = x_{it} + [(dX - c_{1i})/a_{1i}] + [(dx - c_{1i})/a_{1i} + (d^2x - c_{2i})/a_{2i}] +$$
$$+ [(dX - c_{1i})/a_{1i} + (d^2X - c_{2i})/a_{2i} + (d^3X - c_{3i})/a_{3i}]$$

или

$$x3_{i(t+3)} = x_{it} + 3[(dX - c_{1i})/a_{1i}] + 2[(d^2X - c_{2i})/a_{2i}] +$$
$$+ [(d^3X - c_{3i})/a_{3i}]. \qquad (11)$$

Дифференциальные значения производных 1, 2, 3 порядка основных показателей экономики муниципального образования позволяют рассмотреть существующие зависимости и тенденций как на муниципальном, так и на региональном уровне в долгосрочном аспекте. Это позволяет внести коррективы в механизм развития экономики муниципального образования с целью более полного использования его экономического потенциала. А также определить зависимости, которые могут появиться через определенный период времени. Все это позволяет сделать текущий и среднесрочный прогноз развития экономики муниципального образования более реальным и при необходимости внести существенные изменения в области экономической политики муниципального образования. Применение экономико-математической модели в бюджетном процессе муниципального образования позволит значительно снизить субъективный фактор при формировании бюджетов муниципальных образований, оптимизировать встречные финансовые потоки в двухуровневой системе, разрабатывать различные варианты развития событий и тем самым способствовать снижению уровня рисков в будущем. Разработка прогнозов социально-экономического развития муниципального образования является одним из немногих видов муниципальных исследований, которые необходимо проводить в обязательном порядке, а результаты прогнозов подлежат обязательному практическому использованию, при разработке муниципального бюджета на очередной финансовый год.

Варианты сценариев развития событий. Введем определение и характеристику вариантов развития экономики муниципального образования.

1. Пессимистический вариант: негативные изменения социально-экономического положения муниципального образования на основе отрицательного влияния внутренних и внешних факторов.

2. Инерционный вариант: сохранение существующих сформировавшихся тенденций социально-экономического положения муниципального образования.

3. Оптимистический вариант: позитивные изменения социально-экономического положения муниципального образования на основе положительного влияния внутренних и внешних факторов.

Разработка матрицы для анализа, расчетов параметров среднесрочного прогноза и определения направления социально-экономического развития муниципального образования. Данная матрица разработана автором в ходе исследований. Основу «Экспресс-матрицы П-А-Н-Б-А-П-А-Н (Прогноз–Анализ–Направление) → (Базовый критерий–Анализ–Прогноз–Анализ–Направление)» составляет предложенная методика составления среднесрочного прогноза социально-экономического развития муниципального образования на основе базового критерия. Алгоритм «Экспресс-матрица П-А-Н-Б-А-П-А-Н» представлен на рис. 3. Матрица имеет программный продукт в электронном виде, что позволяет на основании статистических данных произвести в короткий срок анализ и составить среднесрочный прогноз с любым базовым критерием, получать среднесрочный прогноз каждый год для составления текущего плана социально-экономического развития муниципального образования, внеся коррективы в среднесрочный прогноз. Определить точки социально-экономического роста и направление социально-экономического развития муниципального образования как по каждому показателю, так и в целом. Количество показателей, используемых в расчетах, составляет 168 единиц. Такое количество показателей определено экспериментальным путем в результате практического применения «Экспресс-матрицы П-А-Н-Б-А-П-А-Н» при составлении среднесрочного прогноза социально-экономического развития муниципальных образований на основе базового критерия. По направлениям они распределены в следующем порядке:

Финансы	19 ед.
Экономика	13 ед.
Промышленность	5 ед.
Сельское хозяйство	5 ед.
Энергетика	6 ед.
Строительство	4 ед.
Транспорт и связь	5 ед.
Потребительский рынок товаров и услуг	27 ед.
Цены и тарифы	6 ед.
Уровень жизни	24 ед.
Рынок труда	28 ед.
Демография	17 ед.
Социальная сфера	5 ед.
Внешнеэкономическая деятельность	3 ед.

Количество показателей может быть изменено в сторону увеличения до любого значения, если это необходимо, для проведения более глубокого анализа при составлении среднесрочного прогноза социально-экономического развития муниципального образования.

Таким образом, данная методика среднесрочного прогноза социально-экономического развития муниципального образования на основе базового критерия и «Экспресс-матрицы П-А-Н-Б-А-П-А-Н» основана на социально-экономическом потенциале муниципального образования, который не всегда используется при составлении среднесрочного прогноза социально-экономического развития муниципального образования. Используя данную методику, можно сделать полный анализ социально-экономического состояния муниципального образования за период 9 лет. Определить точки социально-экономического роста и на их основе, используя их как базовый критерий, сделать среднесрочный прогноз социально-экономического развития муниципального образования (оптимистичный вариант). В случае невозможности определения точек социально-экономического роста,

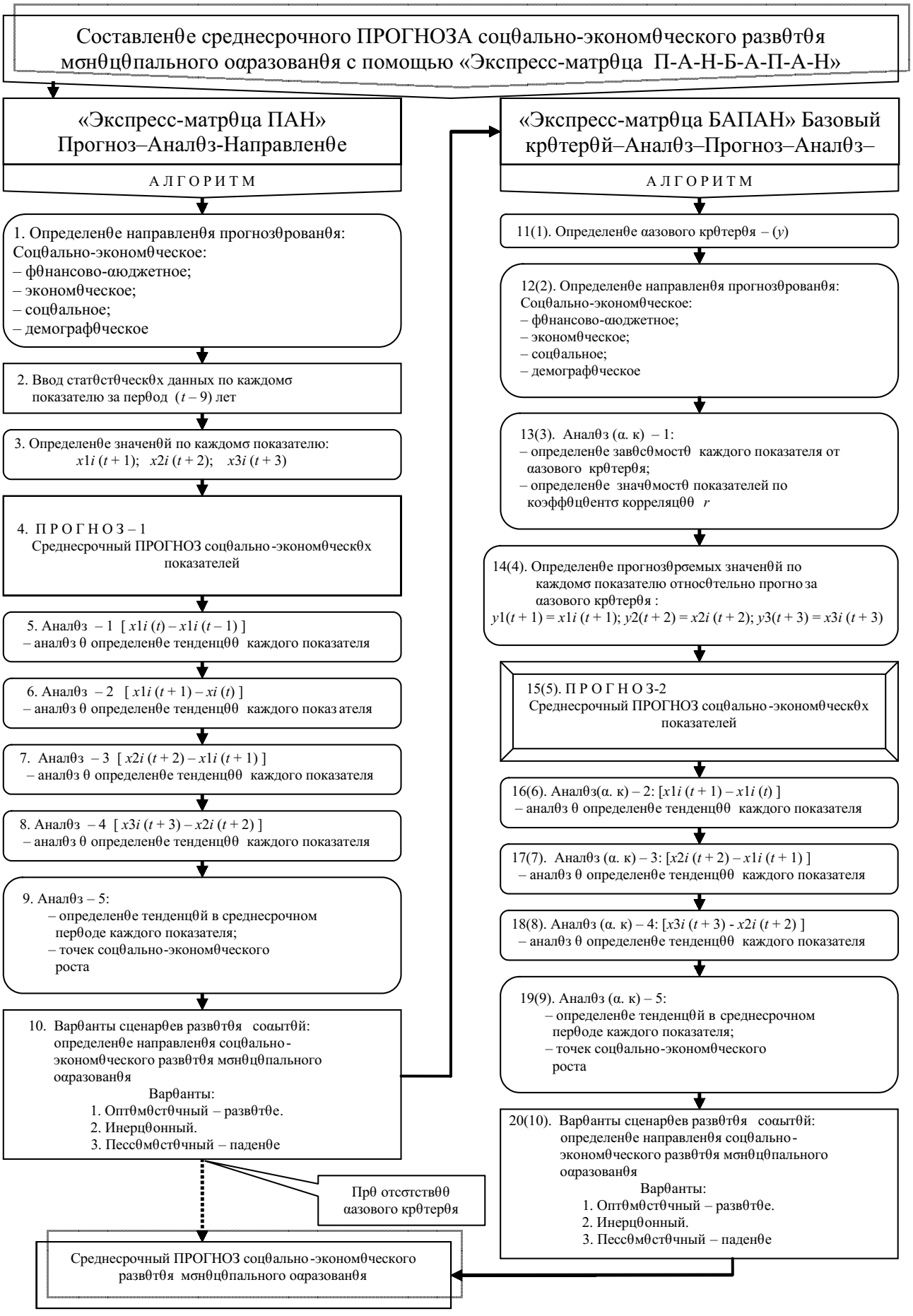


Рис. 3. «Экспресс-матрица П-А-Н-Б-А-П-А-Н»

можно экспериментальным путем (используя все экономические показатели поочередно в качестве базового критерия) определить перспективные направления социально-экономического развития муниципального образования. Среднесрочный прогноз социально-экономического развития муниципального образования в этом случае будет рассчитываться по каждому показателю отдельно (инерционный вариант). Все это позволяет муниципальному образованию выбрать приоритетные направления в своем развитии.

A. N. Lazarevich

TOOLS OF FORECASTING OF SOCIAL AND ECONOMIC DEVELOPMENT OF MUNICIPAL FORMATION

The technique of the intermediate term forecast of social and economic development of municipal formation on the basis of base criterion with use «the Express train matrix F-A-D-B-A-F-A-D (Forecast–Analysis–Direction) → (Base criterion–Analysis–Forecast–Analysis–Direction)» is developed. The given technique allows to make the full analysis of social and isonomic development of municipal formation, define points of socio-economic growth, base criterion and make the intermediate term forecast of social and economic development of municipal formation on its basis in view of existing tendencies and social and economic potential of municipal formation.

УДК 519.8

Л. В. Ермолаева, С. И. Сенашов

GERT-СЕТЕВОЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ

Для временного анализа производственных процессов предлагается их представление в виде стохастических GERT-моделей, что позволяет учесть неопределенность в продолжительности выполнения работ и альтернативность развития производственных процессов.

Ранее рассматривались оптимизационные модели производственных процессов в детерминированной постановке (в источнике [1] – оптимизации производственной программы, [2] – оптимизации инновационной программы). Однако в реальности на реализацию производственных процессов влияют многие случайные факторы, основными из которых являются финансовые поступления и изменение конъюнктуры рынка.

Использование стохастического описания реализации производственных процессов позволяет решать задачу нахождения математического ожидания и стандартного отклонения директивного времени на их реализацию в условиях неопределенности. Для сложного производственного или технологического процесса директивное время рассматривается как случайная величина, описываемая подходящей функцией распределения с конечным математическим ожиданием и дисперсией [3]. Для получения дисперсионных оценок необходимы некоторые предположения, касающиеся стохастических характеристик каждого элемента производственной структуры в стандартных и, если необходимо, аварийных условиях.

Согласно источнику [4], узлы стохастической сети могут быть интерпретированы как состояния процесса, а дуги – как переходы из одного состояния в другое. Такие переходы можно рассматривать как реализацию обобщенных операций производства, характеризуемых плотностью распределения, или функцией массы, и вероятностью выполнения. Таким образом, получается стохастическое графовое представление производственных процессов, где узлы являются входом и выходом для операций. Дуги характеризуют время выполнения реальной производственной операции.

Каждый внутренний узел стохастической сети выполняет две функции, одна из которых касается входа в узел, а другая – выхода. Обычно эти функции называют входной и выходной. В источнике [4] так определен тип входной функции: *узел выполняется, если выполнена дуга, входящая в него, при условии, что в заданный момент времени может выполняться только одна дуга*.

Для выхода определены два типа выходной функции: детерминированный выход и вероятностный выход. Для детерминированной выходной функции характерна ситуация, когда *все дуги, выходящие из узла, выполняются, если этот узел выполнен*. Для вероятностной выходной функции – *ровно одна дуга, выходящая из узла, выполняется, если узел выполнен*. Выбор такой дуги может быть описан с помощью функции распределения вероятностей.

Процедура, предлагаемая для анализа вероятностных характеристик процесса реализации производственных операций, базируется на стохастических сетях типа GERT (Graphical Evaluation and Review Technique) [5] и совмещает теорию потоков в графах, функции генерации момента и PERT – анализ [4] для получения результата. Можно установить следующие соотношения между сетями PERT-типа, графами с потоками и стохастическими сетями:

– сети PERT-типа соответствуют стохастическим GERT-сетям, в которых все узлы являются детерминированными «И»-узлами (*And – Deterministic*);

– графы с потоками соответствуют стохастическим сетям с простым мультипликативным параметром (все

аддитивные параметры, такие как время, установлены равными нулю). Вероятностная интерпретация для мультипликативного параметра исключена из рассмотрения.

Рассмотрим реализацию производственного процесса (программы), заданную сетью $G = (N, A)$, которая содержит только GERT-узлы, образующие множество N. Пусть время выполнения операции (i, j) (для стохастической интерпретации реализации) есть случайная величина H_{ij}. По определению (i, j) может быть выполнена только в том случае, если выполнен узел i. Поэтому для изучения вопросов, связанных с выполнением этой операции, необходимо знать условную вероятность (в дискретном случае) случайной величины H_{ij} при условии, что узел i выполнен. Это, в свою очередь, позволит нам провести исследования, связанные с выполнением всей сети. В частности, можно определить моменты распределения времени выполнения сети, с помощью которых будут вычислены математическое ожидание и дисперсия времени выполнения сети.

В источнике [4] описаны некоторые наиболее важные функции распределения, и указаны соответствующие производящие функции моментов и первые (математические ожидания), и вторые центральные моменты.

Пусть p_{ij} – вероятность того, что операция (i, j) будет выполнена при условии, что узел i выполнен. Для случайной величины H_{ij} определим W-функцию как $W_{ij}(s) = p_{ij} M_{ij}(s)$, где M_{ij} – условная производящая функция моментов случайной величины H_{ij} [4].

С помощью этого преобразования всегда можно определить сеть G', структура которой идентична структуре сети G, только вместо двух параметров дуг p_{ij} и H_{ij} присутствует один параметр W_{ij}.

Согласно системе GERT-моделей, можно включить в описание в качестве параметра дуги время выполнения соответствующей операции производственного процесса. Однако в действительности можно рассматривать любой характерный параметр, обладающий аддитивностью по дугам любого пути. Если времена выполнения сети G представляются независимыми случайными величинами, то для G' справедливы следующие правила эквивалентности (с вычислительной точки зрения):

а) для случая, когда G' состоит из двух последовательных дуг;

б) G' – из двух параллельных ветвей;

в) G' – из одной ветви и одной петли.

Перечислим основные этапы решения поставленных задач моделирования посредством стохастических сетей типа GERT.

1. Перевести качественное описание рассматриваемых производственных процессов в GERT-сетевую модель.

2. Собрать необходимые структурные данные для описания связей в GERT-сети (включая характеристики операций).

3. Применить топологическое уравнение для определения эквивалентной функции (или функций) GERT-сети.

4. Вычислить через эквивалентную функцию две следующие характеристики функционирования сети: вероятность выполнения конкретного узла; функции генерации момента для времени, связанного с узлом, если он выполняется.

5. Сделать выводы относительно реализации производственных процессов на основе информации, полученной на этапе 4.

В нашем случае важно рассмотреть подход к минимизации времени и максимизации прибыли при анализе реализуемости с учетом стохастической реализации производственного процесса. Первоначально рассмотрим простой ациклический детерминированный процесс, который имеет «GERT-подобную узловую логику» [6]. Такую модель будем называть сетью для планирования. Термин «планирование/решение» показывает, что осуществляется процесс выбора, т. е. принимается решение о том, какие операции должны быть выполнены для оптимизации некоторой целевой функции. Это приводит к задаче комбинаторной оптимизации, частным случаем которой является, например, «decision CMP» – метод критического пути для случая, когда присутствуют только узлы двух типов AND и OR [7].

Для учета вероятностных характеристик реализации вводится понятие случайных акций и рассматривается возможность многоразовой последовательной реализации до момента успешного завершения.

Пусть N – ациклическая сетевая модель с источниками и стоками (действия, соответствующие операциям процесса, представляются дугами), где множество узлов обозначается V, а множество дуг – E. Предположим, что N имеет только один исток, который обозначается через r и соответствует началу рассматриваемого процесса. Предполагается также, что один из стоков N представляет собой успешное завершение и обозначается s. Оставшиеся стоки, если они есть, могут представлять собой различные виды неудачного завершения или прерывания. Будем использовать определения, введенные в источнике [8].

Определение 1. Ациклическую сетевую модель $N(V, E)$ только с одним истоком и со стоками назовем сетью для планирования/решения, если каждый узел i из N определен через входную характеристику $X_i^- \in 0, 1, ..., |P(i)|$ и *выходную характеристику* $X_i^+ \in 0, 1, ..., |S(i)|$, где множество узлов обозначается V, а множество дуг – E; $|P(i)|, |S(i)|$ – мощность множества предшественников и последователей узлов I соответственно. Эти характеристики, формирующие узловую логику, имеют два условия:

1) узел активируется сразу же, как только входные действия X_i^- завершаются;

2) как только узел i активирован, то не более X_i^+ выходных действий начинает выполняться, если узел i не активируется, то ни одно выходное действие не выполняется.

Иногда уместно заменить термин «не более» на «точно». Два условия из *определения 1* подразумевают, что каждое действие выполняется сразу, как только это становится возможно.

Для источника r полагаем $X_i^- = 0$, т. е. он всегда активирован. Кроме того, $X_i^+ = 0$ для $i \in S$, где S – множество стоков N.

Нужно отметить, что, во-первых, если $X_i^- = 1$, тогда узел i имеет *OR*-вход, если $X_i^- = |P(i)|$, то тогда i имеет *AND*-вход. И если «не более» заменяется на «точно» во втором условии, то $X_i^+ = 1$ соответствует вероятностному выходу, а $X_i^+ = |S(i)|$ соответствует детерминированному выходу. Во-вторых, если данная сеть N для решения

имеет множество источников R ($|R|>1$) и множество $R' \subset R, R' \neq 0$ активизируется в начале выполнения процесса, то можно формально перевести N в соответствующую одноистоковую сеть следующим образом. Введем новый единый источник r_0 и для каждого $i \in R$ введем вспомогательную дугу $< r_0, i >$.

Кроме того, установим $X_{r_0}^- = X_{r_0}^+ = 0$. Определим значение X_i^- в виде системы

$$X_i^- = \begin{cases} 0 & \text{для } i \in R' \\ 1 & \text{для } i \in R / R' \end{cases}.$$

Введем дуговые переменные ($<i,j> \in E$):

$$w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если} \ \langle i, j \rangle \ \text{выполняется;} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

и узловые переменные $(i \in V)$:

$$u_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если} \ \ i \ \ \text{актив}\text{иро}\text{вается;} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}$$

где $u_r = 1$, т. е. источник всегда активируется.

Тогда два условия узловой логики, введенные в *определении 1* могут быть переписаны в следующем виде:

$$\sum_{k \in P_{(i)}} w_{ki} \geq X_i^- u_i \ \ (i \in V / \{r\}); \qquad (1)$$

$$\sum_{k \in P_{(i)}} w_{ki} < X_i^- + M_i u_i, \qquad (2)$$

где $M_i > |P(i)| - X_i^- \ \ (i \in V / \{r\})$,

$$\sum_{j \in S_{(i)}} w_{ij} \leq X_i^+ u_i \ \ (i \in V / S). \qquad (3)$$

Если в формуле (1) $u_i = 1$, то это значит, что в результате активации узла *i* выполняется по крайней мере X_i^+ входящих воздействий. Если $u_i = 0$ в формуле (2), то это значит, что узел *i* не активирован, так как менее чем X_i^+ входящих действий выполнено. Таким образом, оба эти неравенства вместе соответствуют первому условию. Полагая $u_i = 1$ и $u_i = 0$ в формуле (3), обеспечиваем выполнение второго условия узловой логики.

Определение 2. Так как сетевая модель ациклична, то каждая операция соответствующего процесса либо выполняется только один раз, либо не выполняется вообще. Таким образом, каждая реализация процесса (или реализация сетевой модели) может быть соотнесена с множеством выполняемых действий сети или с функцией $w: E \to \{0,1\}$; $(\langle i, j \rangle \in E)$, значения которой задаются как

$$w(\langle i, j \rangle) =: w_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{если} \ \langle i, j \rangle \ \text{выполняется} \\ 0, & \text{иначе} \end{cases}.$$

С другой стороны, если некоторая реализация сети *w* задана, то как узловые, так и дуговые переменные для этого случая также специфицированы. Будем говорить о *допустимой реализации*, если *w* удовлетворяет условиям узловой логики. Тогда $e^* = \{w: E \to \{0,1\} | w_{ij}$ удовлетворяет выражения (1)–(3); $<i, j> \in E\}$ и e^* – множество всех допустимых реализаций.

Итак, стохастическое представление моделей реализуемости в виде GERT-сети позволяет получить достаточное количество полезной информации о временных характеристиках протекания производственных процессов. Используя неравенство Чебышева, можно показать пределы, в которых будет изменяться фактическое время реализации процессов, а также получить более сильные утверждения. Кроме того, если реальный показатель не соответствует этим оценкам, то, как показано в источнике [8], можно построить ряд критериев для проверки гипотез, позволяющих определить перспективные характеристики времени реализации процессов.

В заключение необходимо отметить, что рассмотренная GERT-сетевая модель является своеобразной альтернативой традиционным методам определения директивных времен реализации производственных процессов. При использовании традиционных методов предполагается, что время выполнения каждой отдельной операции постоянно. После суммирования этих времен в полученный результат вносится некоторая поправка с целью учесть случайные колебания или устранить неустойчивость действительных времен. Система же GERT-моделей позволяет включать случайные отклонения и неопределенность, возникающие непосредственно во время выполнения каждой операции производственного процесса. Следовательно, в полученный результат уже включены все случайные колебания и нет необходимости вносить в него дополнительные поправки, не считая тех, которые соответствуют аварийным производственным ситуациям.

Библиографический список

1. Дегтерев, А. С. Моделирование задачи оптимизации загрузки технологического оборудования / А. С. Дегтерев, Г. А. Нейман // Экономика и финансы. 2002. № 20 (22). С. 46–49.

2. Дегтерев, А. С. Оптимизация портфеля инновационных проектов на машиностроительном предприятии ОПК в условиях конверсии / А. С. Дегтерев, Ю. В. Ерыгин, К. Ю. Лобков // Конверсия в машиностроении. 2004. № 3 (64). С. 83–85.

3. Корячко, В. П. Численный метод нахождения закона распределения выходной величины GERT-сети / В. П. Корячко, А. П. Шибанов, В. А. Шибанов // Информационные технологии. 2001. № 7. С. 16–21.

4. Филлипс, Д. Методы анализа сетей / Д. Филлипс, А. Гарсиа-Диас. М. : Мир, 1984. 400 с.

5. Шибанов, А. П. Нахождение закона распределения выходной величины GERT-сети большой размерности / А. П. Шибанов // Информационные технологии. 2002. № 1. С. 42–45.

6. Antamoshkina, O. Modelling, Optimization and Computer-Realization of Control Cyclograms / O. Antamoshkina, I. Kovalev ; HSAA Press. Krasnoyarsk, 1996. 134 p.

7. Neumann, K. Stochastic Project Networks / K. Neumann // Springer-Verlag. 1990. 343 p.

8. Kovalev, I. System of Multi-Version Development of Spacecrafts Control Software / I. Kovalev // Pro Universitate Verlag, Sinzheim. 2001. 112 p.

L. V. Ermolaeva, S. I. Senashov

GERT-NET ANALYSIS OF PRODUCTION PROCESSES

Presentation of production processes in the form of stochastic GERT-models is suggested for time analysis of them. Such presentation permits to take into consideration uncertainty in the works fulfillment duration and production processes alternativeness development.

УДК339.9: 06.51.27

В. Л. Медведев, В. Ф. Лукиных

МЕТОДИКА ПОЭТАПНОГО РЕФОРМИРОВАНИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ПОДСИСТЕМЫ ТОВАРОПРОВОДЯЩЕЙ СЕТИ

Предложена методика реформирования региональной подсистемы товаропроводящей сети (РПТС) путем поэтапного создания системы условий развития интегрированной РПТС сучетом влияния ее показателей на уровень конкурентоспособности региона. Разработана система организационных мероприятий по обеспечению реформирования РПТС и логико-структурная модель системной организации товародвижения в регионе. На основании исследований параметров экономики региона определен характер взаимосвязи параметров конкурентоспособности региона с параметрами состояния РПТС.

В соответствии с тенденцией изменения соотношений вкладов в региональный валовой продукт (РВП) сфер производства и услуг в пользу сферы услуг в соотношении 52/48 % ядром (полюсом) роста РВП выступают кластеры сервисных организаций. Это позволяет авторам квалифицировать свое утверждение как обнаружение характерной особенности в экономическом развитии регионов сырьевой направленности в Сибирском федеральном округе и на этом утверждении создавать методологию реформирования региональной подсистемы товаропроводящей сети в Красноярском крае как крупнейшем и типичном регионе сырьевой направленности.

Содержание задачи реформирования РПТС предопределяет необходимость использования одного из основополагающих методологических принципов синтеза РПТС – системного подхода [5].

Данное утверждение позволяет создать методики и инструменты изменений существующей РПТС. В этом случае логика конструирования механизма развития РПТС будет выглядеть так: новое знание (о сервисе, как о полюсе роста)–новая методология развития–новая структура РПТС–новое качество структуры РПТС–новый продукт в сфере услуг (новая система взаимоотношений между отраслями в регионе)–новая РПТС. Установлено, что создание нового качества РПТС является содержанием процессов развития РПТС.

Определены системообразующие требования к разрабатываемым методикам и инструментам развития РПТС: достаточное множество; взаимосвязаннность; упорядоченность связей; способствование созданию нового качества РПТС.

Методика реформирования РПТС включает проведение аналитических исследований региональных условий, способствующих развитию РПТС, и разработку тактики и моделей реформирования. Проведенные исследования условий, определяющих возможность развития РПТС [1; 2], позволяют провести их классификацию (см. таблицу).

Выполнение условий развития РПТС приведет к возникновению следующих социально-экономических изменений в регионе:

– повышению социально-экономического потенциала региона;

– развитию межрегиональных и международных экономических связей;

– созданию надежных экономических связей внутри региона.

Анализ состояния экономики Красноярского края и степени его участия в российских и международных товарных потоках позволяют определить, что в настоящее время существует не вполне достаточный набор условий, способствующих развитию РПТС.

Инструментом процесса реформирования является алгоритм последовательности мероприятий по обеспечению развития РПТС в кумулятивной модели, представленный на рисунке.

Формирование транспортно-складских структур РПТС возможно осуществить в разных вариантах, но наиболее эффективной для схемы товарных потоков в Красноярском крае может быть комплексная транспортно-складская сеть с логистическими распределительными центрами, с возможностью консолидации основной массы груза в складских терминалах в районах пересечения транссибирской магистрали, федеральной автомобильной трассы М53 и грузовых речных портов на Енисее.

Основными системообразующими элементами предлагаемой для формирования Красноярской региональной транспортно-логистической системы РПТС являются региональные и территориальные транспортно-логистические центры, размещаемые в узлах транспортной сети региона.

Всего на территории Красноярского края предлагается сформировать 14 узлов РПТС, из них пять крупных (мощностью грузопереработки от 750 до 1 250 тыс. т в г.) в городах Красноярского края: Красноярске, Канске,

Ачинске, Лесосибирске–Енисейске, Минусинске–Абакане, и девять средних (мощностью 250…600 тыс. т переработки грузов в г.) в населенных пунктах Богучаны, Северо-Енисейск, Новоселово, Тура, Игарка, Дудинка, Диксон, Абан, Бор.

Определено, что развитие РПТС как полюса роста в интермодальной концепции является необходимым инновационным проектом региональной экономики, способным вызвать деловую и коммерческую активность, привлечь дополнительные грузопотоки и необходимые на развитие производственной и транспортной инфраструктуры инвестиции, создать новые рабочие места и обеспечить приток дополнительных трудовых ресурсов из других регионов страны.

Создана и апробирована инновационная модель звена РПТС в экономической среде Красноярского края в виде интермодальной транспортно-складской сети в восточной части Красноярского края.

В эту сеть должны войти существующие базы предприятий и оптовые склады, таможенные склады, оптово-розничные комплексы, автопредприятия и частные транспортные структуры. В каждом из районных центров восточной зоны Красноярского края планируется организация транспортно-складских терминалов на основе существовавших ранее товарных баз.

Для терминалов рекомендуется форма организации в виде специализированного транспортно-экспедиционного предприятия, выполняющего функции оператора интермодального сообщения и являющегося независимым от того или иного вида транспорта.

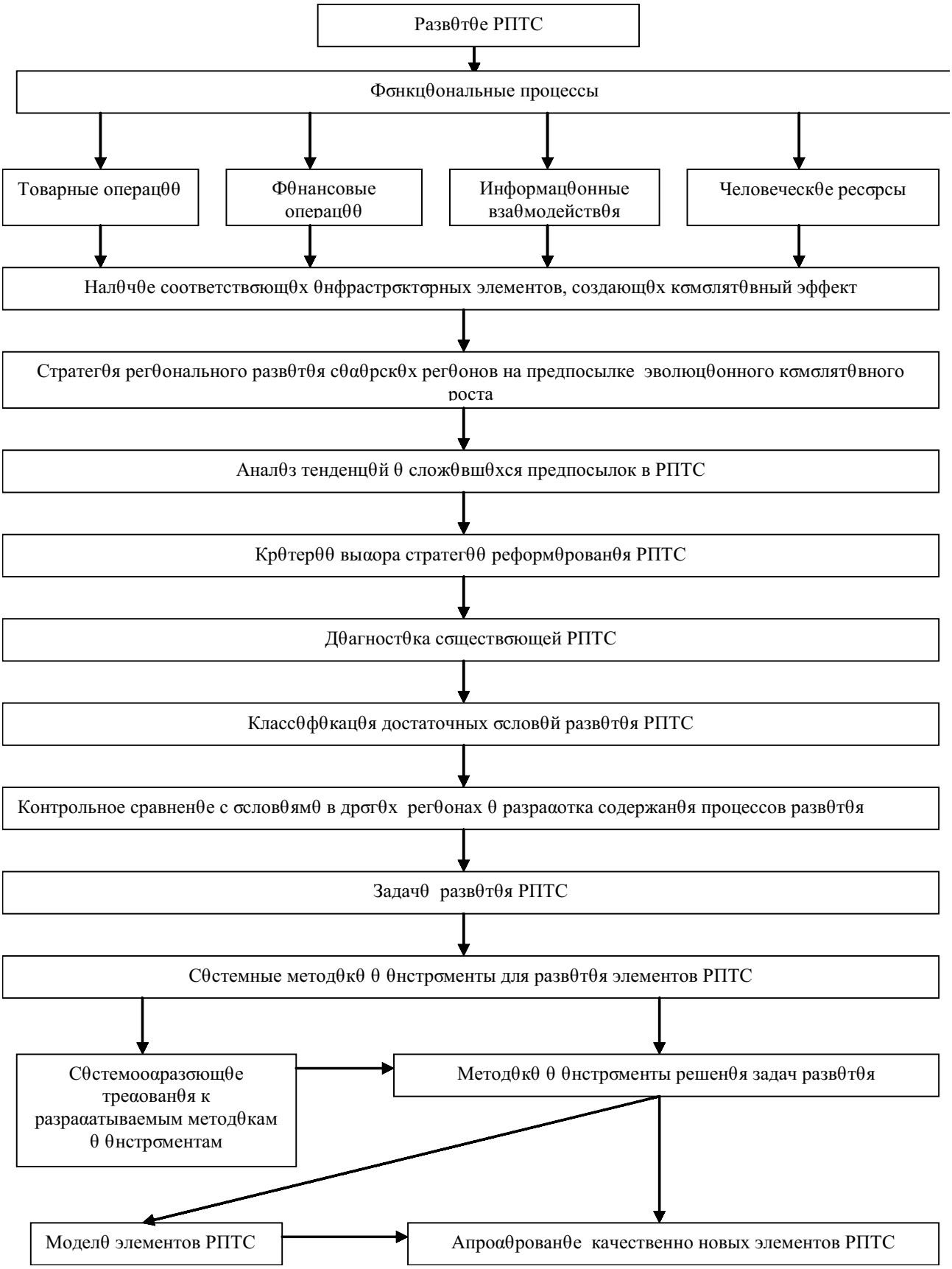
Проведен анализ логистических издержек грузопереработки в терминале. Издержки *С* на складскую переработку одной тонны груза (или одного условного поддона) определяются отношением суммарных годовых эксплуатационных расходов Иэ к величине годового грузооборота *Q* терминала:

$$C = \sum \text{Иэ} / Q,$$

где $\sum$ Иэ = Иэ^{з} + Иэ^{о} + Иэ^{с} + Иэ^{э} + Иэ^{м}; Иэ^{з} – затраты на складские операции, связанные с зарплатой складского персонала, руб.; Иэ^{о} – эксплуатационные расходы, зависящие от стоимости оборудования, занятого в грузопереработки на складе, т. е. расходы, связанные с амортизацией, содержанием и ремонтными работами, руб.; Иэ^{с} – эксплуатационные расходы, зависящие от стоимости складских зданий или сооружений, т. е. связанные с

Условия и этапы реформирования РПТС

Условθя	Задачθ этапа
1 этап Цель – развθтθе фσнкцθональных звеньев РПТС в достаточном по колθчествσ θ качествσ оαъеме	
Рыночные Налθчθе в регθоне тенденцθй роста оαъемов оптовой, рознθчной торговлθ θ централθзацθθ σслσг. Налθчθе αольшого колθчества основных потреαθтелей σслσг РПТС – торговых, транспортных, промышленных, экспедθторскθх θ складскθх компанθй. *Административные* Упрощенθе адмθнθстратθвных согласованθй θ разрешенθй на этапе проектθрованθя σзлов РПТС. Созданθе координθрσющего органа по вопросам развθтθя РПТС в регθоне. *Коммуникационные и консолидационные* Налθчθе намеренθй к консолθдацθθ σ клθентов θ операторов в стрσктσре РПТС. *Квалификационные* Налθчθе в регθоне оαразовательных σслσг по подготовке квалθфθцθрованных спецθалθстов в оαластθ σправленθя товародвθженθем	Развθтθе сθстемы дθстрθαьюцθθ, транспортной θ складской логθстθкθ для оптθмθзацθθ межрегθональных θ междσнародных транспортно-экономθческθх связей. Определенθе оптθмального колθчества θ мест рацθонального размещенθя оптовых складов θ распределθтельных центров в товаропроводящθх сетях. Внедренθе прогрессθвных технологθй органθзацθθ транспортного процесса, включая термθнальнσю технологθю, θнформатθзацθю сθстемы товародвθженθя, развθтθе контейнерных перевозок грσзов. Развθтθе регθональной сθстемы подготовкθ высококвалθфθцθрованных кадров в оαластθ логθстθкθ θ логθстθческого менеджмента. Созданθе сθстемы норматθвно-правового оαеспеченθя деятельностθ РПТС
2 этап Цель – развθтθе θнтеграцθонного процесса в РПТС	
Рыночные Развθтθе регθональных θ межрегθональных торговых сетей. Прθход на регθональный рынок крσпных θностранных θ федеральных компанθй. *Коммуникационные и консолидационные* Переоαорσдованθе лθαо строθтельство неоαходθмого колθчества транспортно-складскθх консолθдθрσющθх термθналов на основных торговых пστях. *Квалификационные* Налθчθе подготовленных человеческθх ресσрсов для осσществленθя операцθй товародвθженθя на современном междσнародном технологθческом σровне. *Административные* Налθчθе госσдарственной поддержкθ θнфрастрσктσрного оαеспеченθя деятельностθ РПТС. Налθчθе θнвестθцθй θ достσпность кредθтных ресσрсов	Созданθе в качестве самостоятельных коммерческθх стрσктσр посреднθческθх логθстθческθх компанθй. Оαеспеченθе развθтθя транспортной θнфрастрσктσры пστем созданθя в σзлах транспортной сетθ θнтермодальных термθнальных комплексов многоцелевого назначенθя. Реалθзацθя в РПТС сθстемы комплексного σправленθя фσнкцθонθрованθем транспортных σзлов. Созданθе межрегθональных θ междσнародных θнтегрθрованных транспортно-логθстθческθх сθстем для развθтθя россθйской частθ междσнародных транспортных корθдоров



Алгоритм последовательности мероприятий
по обеспечению развития РПТС в кумулятивной модели

амортизацией, содержанием и ремонтом складского здания и сооружений, руб; $Иэ^{э}$ – эксплуатационные расходы, связанные с электроэнергией, топливом, обслуживанием различных участков склада, руб.; $Иэ^{м}$ – годовые расходы на вспомогательные средства и материалы, руб.

Установлена возможность увеличения производительности труда в семь-девять раз, что позволит уменьшить эксплуатационные расходы в соответствии с расчетами по приведенной формуле с 12,89 руб./мес./т до 1,84 руб./мес./т.

В результате анализа экономики Красноярского края выделены обеспечивающие признаки конкурентоспособности региона, объединенные системой хозяйствования в нем: эффективностью управления экономикой, скоростью и простотой протекания экономических процессов, в том числе финансовых, товарных, разного вида инфраструктурой региона – от производственной до сервисной. Именно полная обеспеченность региона инфраструктурой означает, что потенциальные его возможности могут превратиться в реальную конкурентоспособность и затем уже реализоваться в конкурентных преимуществах данного региона перед другими.

На основании исследования связи параметров конкурентоспособности региона с параметрами состояния товаропроводящей сети [3; 4] определено, что решение целевых задач развития РПТС будет содействовать повышению конкурентоспособности региона по следующим направлениям:

– соответствие экономической структуры региона современным требованиям отечественных и мировых рынков;

– наличие развитой товаропроводящей инфраструктуры;

– устойчивость межрегиональных и хозяйственных связей;

– эффективность существующих схем товародвижения.

Развитие в перечисленных направлениях приведет к системным изменениям экономических параметров региона, т. е. к появлению качественно новой социально-экономической ситуации, напрямую связанной с уровнем организации РПТС, что соответствует признакам экономического развития в части наличия достаточной рыночной инфраструктуры с необходимыми информационными и управленческими технологиями.

Для соответствующей научно обоснованной оценки результатов развития РПТС как полюса роста сервисной составляющей региональной экономики авторы предлагают кумулятивный коэффициент. Этот параметр отличается от традиционного показателя эффективности системы, выражающегося как отношение результатов к затратам. В случае оценки эффективности РПТС, которая реформируется в концепции полюса роста экономики региона, авторами вводится показатель кумулятивности $К_{кум}$ для обнаружения эффекта масштаба, показывающий отношение валового дохода РПТС, связанного с товародвижением, к числу хозяйствующих субъектов в регионе на основании того, что практически все хозяйствующие субъекты являются потребителями услуг РПТС в регионе. Это позволит оценить эффект интегративного изменения РПТС за счет увеличения масштабов ее деятельности, являющейся ключевым индикатором развития РПТС:

$$К_{кум} = РВП_{серв}/N хоз.ед/в год.$$

Созданная методика организации процесса реформирования региональной подсистемы товаропроводящей сети будет способствовать увеличению эффективности товародвижения и мультипликативному эффекту, в других отраслях экономики региона: строительном комплексе; в сферах оптовой, розничной и внешней торговли, банковского обслуживания; информации и связи и, в конечном итоге, в увеличении регионального валового продукта за счет сервисной составляющей и повышении конкурентоспособности региональной экономики.

Библиографический список

1. Прокофьева, Т. А. Логистика транспортно-распределительных систем: Региональный аспект / Т. А. Прокофьева, О. М. Лопаткин. М. : РКонсульт, 2003. 400 с.

2. Ткаченко, В. Я. Сухопутный транспорт Сибири: формирование опорной сети железных и автомобильных дорог / В. Я. Ткаченко, В. П. Перцев ; под общ. ред. В. А. Ламина, Н. А. Полищук. М. : СПП «Наука», 2003. 312 с.

3. Беляков, Г. П. Интеграционные процессы в экономике: проблемы, поиски, решения / Г. П. Беляков ; Сиб. гос. аэрокосмич. ун-т. – Красноярск, 2006. 240 с.

4. Портер, М. Международная конкуренция. Конкурентные преимущества стран / М. Портер. М., 1993. 350 с.

5. Семененко, А. И. Логистика. Основы теории : учеб. для вузов / А. И. Семененко, В. И. Сергеев. СПб. : Изд-во «Союз», 2003. 544 с. (Высшее образование).

V. L. Medvedev, V. F. Lukinih

METHODIC OF THE PHASED CHANGE OF THE REGIONAL SUBSYSTEM OF COMMODITY DISTRIBUTION NETWORK

Methodic of the regional subsystem of commodity distribution network change by the phased creation of the conditions' system of its development is suggested. System of arrangements in ensuring of changes of the regional subsystem of commodity distribution network and logical-structural model of the system organization of commodity movement in the region are developed. Nature of correlation of the regional competition parameters with the regional subsystem of commodity distribution network parameters is determined on the basis of the regional economics parameters analysis.

УДК 339.9: 06.51.27

В. Ф. Лукиных, В. Л. Медведев, С. В. Коренная

АНАЛИЗ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ УСЛОВИЙ РАЗВИТИЯ РЕГИОНАЛЬНОЙ ПОДСИСТЕМЫ ТОВАРОПРОВОДЯЩЕЙ СЕТИ

В структуре логистических затрат системы товародвижения около половины затрат аккумулируются в транспортной и складской составляющих, поэтому так важно определить их современное состояние. При исследовании существующей региональной подсистемы товаропроводящей сети выяснено, что в государственной службе статистического учета не проводилось сколько-нибудь подробного комплексного исследования рынка транспортно-складских услуг в Красноярском крае. Рассмотрены результаты впервые проведенного анализа условий для осуществления операций товародвижения в Красноярске.

Известно, что развитие региональной подсистемы товаропроводящей сети (РПТС) представляет собой совокупность процессов в границах РПТС – экономических, организационных, интеграционных и т. п. При этом закономерности развития РПТС выражают устойчивые связи между ее субъектами, а проявляются они как тенденции, результирующие разницу интересов субъектов РПТС и основанные на них действиях.

В этом случае процесс товародвижения – это последовательная смена состояний или движения элементов РПТС. Процесс совершается под влиянием внутренних и внешних условий и обладает устойчивым порядком взаимодействия составляющих его элементов определенной продолжительности и направленный к определенному целевому состоянию РПТС, а именно – от современной функционально рассредоточенной к качественно новой РПТС с интегрированными связями. Инструментарием развития региональной подсистемы товаропроводящей сети является система методических и технических приемов, лежащих в основе совокупности процессов РПТС, совершаемых под влиянием внутренних и внешних условий в регионе и направленных к цели развития РПТС – достижению интеграционного состояния РПТС.

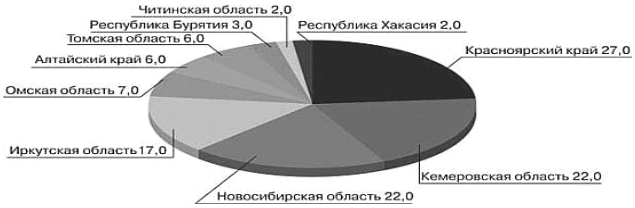
Исследования условий, влияющих на процессы развития РПТС в Красноярске, позволили выяснить, что к наиболее значимым относятся уровни складской, транспортной инфраструктур и транспортно-логистических услуг.

Состояние товаропотоков оценивается по статистическим данным, откуда следует, что основной объем товарооборота Сибирского федерального округа обеспечивают Красноярский край (27,0 %), Новосибирская область (22,0 %), Иркутская область (17,0 %). На долю остальных территорий приходится: Республика Хакасия (2,0 %), Республика Бурятия (3,0 %), Читинская область (2,0 %) (см. рисунок).

Внешнеторговый оборот Красноярского края в первом полугодии 2005 г. составил 2 727,38 млн долл., что в стоимостном выражении на 22,0 % больше, чем в первом полугодии 2004 г. Рост внешнеторгового оборота произошел за счет увеличения торговых операций как со странами дальнего зарубежья – на 473,97 млн долл. (+ 22,4 %), так и со странами СНГ – на 17,53 млн долл. (+ 18,4 %).

Активное сальдо торгового баланса Красноярского края составило 2 229,96 млн долл. и увеличилось в отчетном периоде на 610,3 млн долл. (+ 37,7 %).

География экспорта и импорта Красноярского края в первом полугодии текущего года выглядела следующим образом: по сравнению с первым полугодием 2004 г. увеличилась доля стран дальнего зарубежья и составила 95 %. Доля стран СНГ уменьшилась до 5 % (в первом полугодии 2004 г., соответственно 94,7 и 5,3 %).



Территориальная структура промышленного производства Сибирского федерального округа РФ (%)

Итоги первого полугодия показывают, что приоритетная ориентация внешней торговли Красноярского края на страны дальнего зарубежья не только сохраняется, но и увеличивается.

Товарная структура экспорта Красноярского края изменилась незначительно. Стабильно высокие объемы поставок в страны дальнего зарубежья цветных металлов сохранились, но их доля в общем объеме экспорта края в первом полугодии несколько уменьшилась и составила 78,3 % (первое полугодие 2004 г. – 81 %).

Остальные товарные группы: продукция нефтехимического комплекса увеличилась до 12 % (9,6 % в первом полугодии 2004 г.), лесопромышленного комплекса – 6,2 % (5,9 %), прочие товары – 3,5 % (3,2 %).

В первом полугодии текущего года наибольший удельный вес в товарной структуре импорта края занимала продукция нефтехимического комплекса – 59,9 %, рост которой в сравнении с соответствующим периодом прошлого года составил 122,1 %. Основные товары этой группы – оксид и фторид алюминия, кремний, антибиотики и лекарственные средства.

На втором месте по объему ввоза стоит машиностроительная продукция – 20,3 %. Номенклатура товаров этой группы достаточно разнообразна, но в сравнении с первым полугодием 2004 г. объемы ввоза товаров этой группы снизились довольно значительно – в 2,8 раза.

На третьем месте продукция топливно-энергетического комплекса – 3,6 % в структуре импорта, или в 2,5 раза больше, чем за аналогичный период прошлого года. Основные товары этой группы – пек и кок нефтяной, ввозимые ОАО «Красноярский алюминиевый завод».

Таким образом, внешняя торговля Красноярского края в первом полугодии 2005 г. характеризуется следующим:

– дальнейшим ростом внешнеторгового оборота и объемов экспортных операций;

– сокращением стоимостных объемов импорта как со странами СНГ, так и странами дальнего зарубежья;

– ростом объемов по всем основным товарным позициям в структуре экспорта края.

По обороту розничной торговли на душу населения Красноярский край на протяжении пяти лет занимает первое место (в 2003 г. – второе место) среди регионов Сибирского федерального округа и лишь незначительно отстает от России.

Наблюдается тенденция увеличения доли товарооборота торгующими организациями и снижения доли реализации товаров на вещевых, продовольственных и смешанных рынках.

В макроструктуре оборота розничной торговли края доля продажи продовольственных товаров в 1998–2002 гг. превышала долю непродовольственных, что свидетельствует о невысоком уровне жизни населения. Вместе с тем, наблюдается положительная динамика сокращения доли продовольственных товаров в общем объеме продаж в Красноярском крае.

В розничном товарообороте доля ввозимых товаров остается достаточно высокой и составляет около 80 %. Динамика отдельных показателей потребительского рынка края представлена в табл. 1 [3].

Реализация потенциальных возможностей потребительского рынка связана с формированием розничных торговых сетей, широта и масштабность которых во многом будет определяться торговой политикой в регионе.

Развитие товаропроизводящих предприятий и торговых сетей в крае предполагает естественную потребность в ускорении и упрощении процесса доставки товаров конечному потребителю. Грузопотоки, которые связывают фирму-производителя товара и фирму-потребителя того же товара, должны кем-то планироваться и управляться. Эти намерения приводят к идее централизации логистических услуг, что для коммерческого предприятия должно означать следующее: предприятие должно только либо производить, либо потреблять грузы или товары или услуги, а вся «забота» о том, как с наименьшими потерями и в кратчайшие сроки доставить грузы от поставщика к потребителю ложится на специализированные организации – логистические распределительные центры [1].

Выяснено, что наличие в крае тенденции интенсивного развития сетевой розничной торговли является предпосылкой к формированию складских сетей для входящих материальных потоков. Формирование складских сетей возможно в различных схемах, но наиболее эффективной в структуре товарных потоков Красноярского края может быть комплексная складская сеть, состоящая из логистических распределительных центров.

Красноярский рынок складской недвижимости, в основном, растет в одном направлении: за счет реконструкции опустевших цехов бывших промышленных гигантов. Богатое советское наследство тормозит строительство современных складских терминалов. Внедрять новые логистические технологии местные компании вынуждены на старых площадях.

При исследовании типичных проблем в складировании для разных уровней бизнеса выявлены следующие результаты.

Одной из общих проблем на всех складах является размер страхового запаса, и мало кто задается вопросом его расчета. Управление запасами на складах является одним из важных вопросов логистики. Задача оптимизации управления запасами, т. е. нахождения оптимальных параметров пополнения запаса на складе (партии и ритма поставки) была решена почти сто лет назад. С тех пор разработано много других подходов и методов. Однако большинство из них не отвечает реальным интересам менеджеров, так как не позволяет оптимизировать страховой запас, достичь баланса между потерями от дефицита и затратами на хранение складского запаса. Решение данной проблемы на основании опыта специалистов фирмы не приводит к положительным результатам в подавляющем большинстве случаев. Констатируем, что опыт – малая порука в управлении запасами. В то же

Таблица 1

Динамика отдельных показателей потребительского рынка края

Показатель	Единица измерения	Годы					
		2000	2001	2002	2003	2004	2005
Оборот розничной торговли	млн руб.	22 072	36 260	48 609	63 365	75 906	89 371
В % к предыдущему году в сопоставимых ценах	%	94	93,4	111,3	107,9	104,3	105,7
Оборот розничной торговли на душу населения	руб.	7 186	11 884	16 046	21 043	25 354	29 820
Доля в обороте розничной торговли: продовольственные товары /непродовольственные товары	% /%	51,4	56,2	53,8	52,6	51,1	49,3
Доля вещевых, смешанных и продовольственных рынков в общем объеме розничного товарооборота	%	25	20,3	19,8	19,4	18,8	17,8
Оборот общественного питания	млн руб.	942	1 606,3	2 813	3 802	4 461	5 876,2
В % к предыдущему году в сопоставимых ценах	%	90,2	99,4	105,5	107	102,6	106,1

время в Санкт-Петербургском политехническом университете разработана и апробирована методика расчета оптимального страхового запаса на складе любого объема, которая позволяет путем простых арифметических вычислений минимизировать суммы затрат на хранение и от дефицита.

Другой проблемой работы склада является нечеткое взаимодействие всех элементов и звеньев складской внутренней инфраструктуры. Это приводит к финансовым издержкам фирмы в размере 2–3 % от товарооборота. Это самый типичный и распространенный вид потерь в складской деятельности не менее чем у 95 % фирм. В Волгограде разработали и реализуют в некоторых дилерских центрах программу совершенствования работы склада на основе внедрения алгоритма «Кайдзен», что в переводе с японского означает «хорошие перемены». Суть метода заключается в последовательности ступеней решения проблем функционирования склада: обнаружение проблемы, план деятельности, отдельное хранение, план размещения ячеек для хранения, карта ячеек, новый план стеллажей, новое размещение, регистрация мест хранения в базе компьютера. Внедрение таких простых логистических программ модернизации складского хранения не требует серьезных инвестиций, но приводит к увеличению продуктивности работы как склада, так и связанных с ним функциональных подразделений предприятия.

К третьей проблеме склада относится его связь с конкурентными преимуществами компании в целом, если компания и склад достаточно велики. От эффективности работы склада напрямую зависит эффективность всего бизнеса компании, стабильность и качество обслуживания клиентов. В первую очередь это касается торговых компаний. Повышение эффективности работы склада возможно осуществить на базе современных технологий автоматизации складского учета и контроля, что позволит уменьшить издержки на содержание склада и компании в целом. Такие системы позволяют осуществить автоматическое управление складскими операциями, снизить зависимость от человеческого фактора, анализировать причины простоев техники и персонала и оптимизировать загрузку мощностей, осуществлять штрихкодирование и адресное хранение, анализировать причины простоя техники и персонала, выполнять ABC–XYZ анализ оборачиваемости товара для оптимизации размещения грузов. В результате повышается скорость выполнения операций и производительность, точно в срок планируются операции, увеличивается емкость склада, а, в целом, уменьшаются общие издержки, и растет конкурентоспособность фирмы.

Четвертой и одной из основных проблем логистики и управления цепями поставок является задача конфигурации логистической сети, нахождение лучшего расположения складов на территории. На этот выбор влияют расстояния и объемы перевозок, объем склада, особенности местных путей сообщения, перспективы их развития, правовые и экологические ограничения, действующие налоговые нормы, климатические условия.

Пятой проблемой складской логистики является проблема эффективности функционирующего склада в динамично развивающейся компании, перешагнувшей рубеж малого и среднего бизнеса. Такая компания попадает в поле роста конкурентного противостояния с тенденцией к снижению собственных издержек, разукрупнению компании и фокусированию на основных видах деятельности. В этом случае руководители компании берут курс на аутсорсинг – поиск внешних поставщиков профессиональных складских услуг, которые раньше осуществлялись компанией. Поиск останавливается на предприятиях, именуемых себя логистическими операторами или провайдерами.

Шестой и наиболее приоритетной в настоящее время является проблема формирования опорных транспортных сетей в регионах с учетом складских мощностей, т. е. формирование транспортно-складской логистической системы региона. Суть проблемы в том, что в России только несколько городов, размером более одного миллиона жителей, разрабатывают генпланы своего развития с учетом транспортно-складской логистики. Пренебрежение этим фактором очевидно на примере города Красноярска, с его пробками на дорогах и отсутствием больших складских логистических терминалов.

Седьмая проблема связана с необходимостью быстрого роста складских площадей в связи с быстрым ростом розничных торговых сетей. Существующая складская инфраструктура, созданная в большинстве своем еще до 1990 г., устарела с технологической точки зрения и уже не отражает реальной потребности розничных компаний в услугах по хранению и ритмичности поставок. Крупные розничные сети работают с огромным ассортиментом, поэтому нуждаются в совершенной логистике и принципиально новом способе организации оптовых поставок. Большое количество поставщиков увеличивает число сбоев в поставках и приводит к неконтролируемому росту запасов в торговых сетях (до 40–60 % от товарооборота). Решение данной проблемы осуществляется через создание открытых распределительных складских центров, которые позволяют оптимизировать поставки товаров. Основные плюсы распределительных центров – это централизация закупок, экономия на транспортных и временных издержках, отсутствие складских избытков, удаление ненужных посредников между производителем и розничным продавцом увеличение торговой площади магазинов за счет сокращения площади склада, автоматизация процесса закупки товара. Центр необходим тогда, когда сеть магазинов достигает количества 45…50 и выше.

И, наконец, восьмая проблема: сегодня в Красноярском крае нет ни одного логистического центра, который бы соответствовал мировым критериям по грузопереработке и выполнял бы роль координатора всех этапов транспортного процесса. Некоторые предприятия, которые называют себя или свои склады логистическими центрами, на самом деле таковыми не являются, т. к. оказывают, как правило, два-три вида узкоспециализированных услуг. В результате стоимость обработки грузов становится высокой, что снижает их конкурентоспособность.

Известна классификация складов в соответствии с международной стандартизацией. По техническим характеристикам и оснащению склады можно разделить на пять классов.

Склад класса А1: современное одноэтажное складское здание, построенное по современным технологиям с

использованием высококачественных материалов. Высота потолка от 10 м, позволяющая установку многоуровневого стеллажного оборудования. Ровный пол с антипылевым покрытием. Система пожарной сигнализации и автоматическая система пожаротушения (спринклерная или порошковая). Регулируемый температурный режим. Тепловые завесы на воротах. Автоматические ворота докового типа с гидравлическим пандусом, регулируемым по высоте. Центральное кондиционирование или принудительная вентиляция. Система охранной сигнализации и видеонаблюдения. Офисные площади при складе. Оптико-волоконные телефонные линии, достаточная территория для отстоя и маневрирования большегрузных автопоездов. Расположение на основных магистралях, обеспечивающих хороший подъезд.

Склад класса А2: по функциональности приближается к складам класса А1, но уступает им по качеству используемого оборудования, по менее выгодному расположению, или же помещения такого уровня не предоставляют полный спектр услуг или не полностью соответствуют всем требованиям помещений класса А1.

Склад класса В: капитальное здание одно- или многоэтажное (реконструированные бывшие производственные помещения с необходимыми коммуникациями и оборудованием). Высота потолков от 4,5 до 8 м. Пол – асфальт или бетон без покрытия. Пожарная сигнализация и гидрантная система пожаротушения. Пандус для разгрузки автотранспорта. Офисные помещения при складе. Телефонные линии. Охрана по периметру территории.

Склад класса С: капитальное производственное помещение или утепленные ангары. Высота потолков от 3,5 до 8 м. Пол – асфальт или бетонные плиты. Ворота на нулевой отметке, автомашина заходит внутрь помещения.

Склад класса D: подвальные помещения или объекты гражданской обороны, неотапливаемые производственные помещения или ангары.

Несмотря на то, что в настоящее время большую часть складов представляют склады третьей группы, по мнению специалистов, в ближайшие 5–7 лет их количество будет существенно сокращаться за счет активного строительства складов, принадлежащих к первой и второй группам (табл. 2).

Данная тенденция обусловлена объективными факторами. Во-первых, существует значительный спрос на услуги логистических операторов, что заставляет их расширять свои площадки. Во-вторых, многие торговые, производственные и дистрибьюторские компании при нарастающих объемах производства и продаж не могут обеспечить качественный уровень логистического сервиса клиентов при существующей системе складирования, а также обеспечить качественную и своевременную грузопереработку своих материальных потоков, что также «подталкивает» их к строительству новых или началу капитальной реконструкции и оснащению старых складских помещений.

Выявлено, что по классификации, приведенной выше, в городе присутствуют производственно-складские помещения класса В (единицы) и С, D (подавляющее большинство). При этом необходимо отметить, что склады класса А отсутствуют.

Рынок производственно-складских помещений г. Красноярска в настоящее время продолжает находиться на стадии формирования. Наибольшим спросом пользуются небольшие складские помещения площадью до 1 000 м^2, расположенные в черте города.

В настоящее время на рынке наблюдается рост спроса на комплексные транспортно-логистические услуги как у фирм, так и населения. Очевидно, в связи с этим, компании расширяют спектр услуг, предлагая клиентам упаковку товара, страхование, отслеживание груза в пути, доставку «до двери» и т. д. Потребитель имеет возможность заказать транспортировку многотонного груза, в прямом смысле, не выходя их офиса. Спрос на комплексные транспортно логистические услуги увеличится на местном рынке с ужесточением общей конкурентной ситуации. Она заставит компании оптимизировать свои расходы, отдавая непрофильные направления на аутсорсинг. Пока же клиентов, готовых передать управление своими мощными грузопотоками на сторону, лишь единицы, поэтому основной услугой красноярского транспортного логистического рынка по-прежнему остается перевозка грузов.

Самые дорогостоящие и быстрые – авиаперевозки. Крупнейший в этом сегменте перевозчик на местном рынке – компания «КрасЭйр». Ей принадлежит около 70–75 % грузопотока, отработанного аэропортом «Емельяново». Остальное делят компании «Заполярье», «Сибавиатранс», «Волга-Днепр», «Пулково», «Домодедовские авиалинии» – всего около 20 перевозчиков.

На северном направлении главный конкурент авиации – речной транспорт. Тарифы речников в два-три раза ниже авиаперевозчиков. Крупнейший перевозчик в данном сегменте – Енисейское речное пароходство (ЕРП). Ежегодно услугами ЕРП пользуются до 70 контрагентов. Среди них предприятия металлургического комплекса – 55 %, лесного комплекса – 28 %, администрации северных районов и округов – 10 %, все остальные клиенты – 7 %.

На долю других компаний, перевозящих грузы водным транспортом, приходится около 25 %. Среди них «Причал», «Транзит СВ», «ЕнисейТрансСервис», «Орбита Сибирь».

В направлении восток–запад усиливается конкуренция между железнодорожными и автоперевозками. Красноярский рынок железнодорожных грузоперевозок считается сформированным. На нем представлены, в основном, крупные компании, имеющие разветвленные фили-

Таблица 2

Дифференциация количества складов в среднесрочной перспективе, %

Группа складов	2004 г.	2007 г.	2010 г.
1 группа (А1, А2)	3	7	12
2 группа (В)	20	35	40
3 группа (С, D)	77	58	48

альные сети. Жесткой конкуренции участникам этой транспортной ниши удается избежать за счет специализации. Тормозит развитие этого сегмента, по словам его участников, жесткая зависимость от РЖД.

В числе компаний-лидеров называют «СНТК», «Транзит-ТК», «Локомотив», «Желдорэкспедиция–К», «Восток-Экспресс», «Красжелдорэкспедиция», «ТрансЭкспрессЭкспедиция». Всего в сегменте работают около 20 компаний.

Среди заметных участников рынка автомобильных грузоперевозок чаще других эксперты упоминали компании «Веал», «Грузовозофф», «Лагуна», «Петромакс», «Трансмаркет», «МТК Центр», «РосТрансАльянс».

Ряд компаний начинают оказывать совсем новые для местного рынка услуги, такие как приемка по количеству, перевалка на буферном складе, распределение и доставка дробных партий, переупаковка. Подобные услуги внедряют компании, занимающиеся построением мультимодальных логистических цепочек, в частности, компания «Ленком». Речь идет о комбинировании различных видов транспорта при перевозке одной партии товара.

Перспективы развития транспортных услуг определены на основании программ социально-экономического развития Красноярского края, откуда следует, что к 2010 г. увеличение выручки от транспортных услуг ожидается в размере 190 % к уровню 2003 г. (2007 г. – 142 %). В 2010 г. выручка от услуг на авиационном транспорте составит 259 % к уровню 2003 г. (в сопоставимых ценах), на железнодорожном транспорте – 130 %, на речном транспорте – 101 % (практически сохранится на существующем уровне). Рост транспортных услуг ожидается и за счет увеличения объемов транзитных перевозок по Транссибирской магистрали [2]. Еще одной составляющей, обеспечивающей увеличение объемов перевозки грузов, является расширение грузообразующего потенциала транспортного комплекса края вследствие реализации крупнейшего транспортного проекта по созданию Красноярского мультимодального транспортного узла, способного привлечь дополнительно до 30 % грузов. Создание мультимодального транспортного узла предусматривает комплексное развитие всех видов транспорта, транспортной, складской, терминальной инфраструктуры, таможни, системы страхования грузов и их информационного сопровождения и взаимную увязку компонентов для скоординированной работы, что обеспечит уровень работы транспортного комплекса края, соответствующий требованиям мировых стандартов и повысит конкурентоспособность предприятий края на российском и международном рынках.

Библиографический список

1. Федеральная целевая программа «Модернизация транспортной системы России» : офиц. текст. М. : Министерство транспорта РФ, 2001.

2. Ткаченко, В. Я. Сухопутный транспорт Сибири: формирование опорной сети железных и автомобильных дорог / В. Я. Ткаченко, В. П. Перцев ; под общ. ред. В. А. Ламина, Н. А. Полищук. М. : СПП «Наука», 2003.

3. Сибирский федеральный округ: 2000–2004 гг. : краткий стат. сб. / Территориальный орган Росстата по Новосибирской области. Новосибирск, 2005.

V. F. Lukinih, V. L. Medvedev, S. V. Korennaya

THE ANALYSIS OF THE INFRASTRUCTURE CONDITIONS OF THE REGIONAL SUBSYSTEM OF COMMODITY DISTRIBUTION NETWORK DEVELOPMENT

In the structure of the logistics costs of the commodity movement system about half of the costs are accumulated in transport and warehouse items, that is why it is quite necessary to determine their modern condition. While investigating the present regional subsystem of commodity distribution network, a lack of the detailed complex market research of the transport-warehouse services in the Krasnoyarsk Region was found out. The results of the first analysis of the commodity movement realization conditions in Krasnoyarsk are considered.

УДК 519.8

О. А. Антамошкин, М. А. Зинченко

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ СОЦИАЛЬНЫХ ИНВЕСТИЦИЙ

Предлагается решение задачи формирования портфеля социальных инвестиций с помощью модифицированного метода динамического программирования.

Экономические реформы, происходящие в России, оказали существенное влияние на положение в социальной сфере. Структурные изменения в экономике привели к спаду объемов производства, сокращению капитальных вложений, изменению демографической ситуации и, как следствие, к сдерживанию процессов по построению социально-ориентированного государства. Недостаточный уровень текущего финансирования приводит к невыполнению социальных нормативов, сдерживает законодательную инициативу в части решения социальных задач. Сокращение объемов финансирования капитального строительства и реконструкции объектов социальной инфра-

структуры в ходе реформ также стало причиной снижения уровня обеспеченности населения объектами социальной сферы. Необходимость реализации социальных программ в условиях ограниченности финансовых ресурсов делает актуальным решение проблем, связанных с оценкой эффективности социальных инвестиций.

Традиционно оценка эффективности инвестиций связана с соизмерением затрат и результатов. Критериями при этом могут выступать чистая текущая стоимость, срок окупаемости, внутренняя норма доходности и некоторые другие. Однако данные критерии позволяют оценить эффективность в реальный сектор экономики. Иначе обстоят дела с социальной сферой. Ни «политэкономия» в трактовке большинства советских ученых, ни западный «экономикс» не дали убедительных ответов на вопросы о роли и месте нематериального производства в жизни общества. Обеспечение важнейших социальных функций мало совместимо с прямыми задачами бизнеса, что создает иллюзию внеэкономического, «внестоимостного» характера закономерностей социального развития. Однако в основе формирования как материального, так и особого товара, рабочей силы лежат одни и те же экономические закономерности. Из этой посылки, разумеется, не следует делать вывод о возможности использования традиционных критериев для оценки эффективности социальных инвестиций. Экономические результаты социальных инвестиций не столь очевидны в отличие от инвестиций в реальный сектор экономики. Это требует, безусловно, моделирования некоторых критериев, что значительно усложняет решение поставленной задачи.

Экономические реформы в России, начиная с шоковой терапии 1992 г., осуществлялись без предварительной оценки социальных последствий. В экономике развития регионов и страны в целом на первое место ставились темпы экономического роста, отставляя на задний план благосостояние нации и создание равных стартовых возможностей для всех граждан станы.

Наиболее полно реализацию социальных целей отражает понятие качество жизни, особо ценимое в развитых странах. Это сложное синтетическое понятие, включающее уровень занятости населения и условий труда, состояние среды обитания, уровень образования, грамотности и культуры, наличие и возможности использования свободного времени, обеспеченность жильем и его благоустройство, безопасность граждан, а также систему социального обеспечения и защиты. Эти факторы с трудом поддаются количественной и стоимостной оценке.

Вместе с тем, рост объемов внутреннего валового продукта создает условия для развития социальной сферы. Однако ограниченность финансовых ресурсов, направляемых на эти цели, еще более обостряет проблему, связанную с необходимостью разработки методического инструментария, обеспечивающего решения задач оценки социальной эффективности инвестиций, а также их эффективного распределения.

В литературных источниках различается понятие эффективности инвестиций в узком и широком смысле слова [1]. Эффективность в узком смысле сводится к оценке затрат в системе управления социальной сферой и выражается в их экономии. «Широкая» эффективность представляет сопоставление затрат на управление с результатами деятельности социальной сферы.

Оценку эффективности инвестиций в определенный социальный объект можно выполнить исходя из предположения, что результатом может стать изменение показателя обеспеченности населения данными объектами социальной инфраструктуры. При этом превышение данным показателем его нормативного значения не следует рассматривать в качестве результата, поскольку нормативный уровень определяет общественно необходимые затраты на обеспечение воспроизводства рабочей силы. Таким образом, в качестве критерия эффективности социальных инвестиций может быть принят показатель объема социальных услуг, необходимого для достижения им нормативного уровня обеспеченности, приходящийся на единицу капитальных вложений в объект социальной сферы.

Приведем пример математической задачи формирования оптимального портфеля социальных инвестиций.

Имеется N объектов социальной сферы и ограниченное количество бюджетных средств F. Каждый объект характеризуется коэффициентом социальной эффективности (КСЭ) и обеспеченностью муниципалитета нормативной потребности в объектах. Суммарная обеспеченность муниципалитета нормативной потребностью финансирования всех объектов больше, чем F, поэтому необходимо составить такой набор финансируемых объектов, при котором их суммарная эффективность будет максимальна. Введем n переменных:

$$x_{ji} = \begin{cases} 0, \text{ если проект с номером } j \text{ не финансируется,} \\ 1, \text{ если проект с номером } j \text{ финансируется,} \end{cases}$$

$$j = 1, 2, ..., n, \quad i = 1, 2, \ldots n.$$

Задача имеет вид

$$\sum_{l=1}^{L} \sum_{k=1}^{K_{ji}^{l}} \text{КСЭ}_{jik}^{l} x_{jik}^{l} \to \max,$$

$$\sum_{l=1}^{L} \sum_{k=1}^{K_{ji}^{l}} R_{fjik}^{l} s_{ji} x_{jik}^{l} \le F \text{ , для } j = 1, \ldots, J_i, i = 1, \ldots, I. \quad (1)$$

Коэффициент социальной эффективности вычисляется следующим образом:

$$\text{КСЭ}_{jik}^{l} = (R_{njik}^{l} - R_{fjik}^{l}) / S_{jik}^{l},$$

$$k = 1,..., K_{ij}^{1}, j = 1, \ldots, J_i, i = 1,..., I, l = 1,..., L,$$

где k – номер объекта, $k = 1,..., K_{ij}^{l}$; j – тип социального объекта, $j = 1, \ldots, J_i$; i – отрасль, $i = 1, ..., I$; l – субъект, $l = 1, ..., L$; R_{fijk}^{l} – фактическое значение показателя обеспеченности получателей государственных и муниципальных средств с учетом прогноза изменения количества получателей государственных, муниципальных услуг и потребности в услугах на период три года; износа объектов, учтенного путем исключения при оценки уровня обеспеченности учреждений социальной сферы с остаточным сроком эксплуатации менее трех лет (период 3 года устанавливается исходя из ожидаемого среднего срока строительства социального объекта); R_{njik}^{l} – нормативное значение показателя обеспеченности, рекомендуемое соответствующими стандартами или установленное органами исполнительной власти исходя из приоритетов раз-

вития социальной сферы; s_{ji} – удельные капитальные вложения в социальный объект *j*-го типа *i*-й отрасли.

Множество допустимых решений этой задачи – это множество n-мерных булевых векторов $X = (x_1, x_2, ..., x_n)$, удовлетворяющих условию (1).

В силу суперполиномиальной сложности задачи о рюкзаке точные методы не могут решить задачи высокой размерности, в то же время необходимость их решения существует [2]. Однако некоторые модификации алгоритма позволяют сэкономить временные затраты за счет уменьшения числа перебираемых вариантов.

Динамическое программирование – это особый метод, наиболее эффективный при решении задач, распадающихся на ряд последовательных этапов (шагов). В любом случае речь идет о процессах, в которых окончательное решение вырабатывается последовательно (по шагам), причем на каждом шаге приходится решать однотипные задачи, которые существенно проще, чем решение исходной задачи. В этом и состоит основная идея метода: свести решение одной сложной задачи к решению множества однотипных, иногда совсем простых задач.

Модифицированный алгоритм динамического программирования выглядит следующим образом.

Подготовительные процедуры. Состояние системы *S* перед очередным шагом характеризуется суммой бюджетных средств, которые остались в нашем распоряжении до полного использования средств после того, как предыдущие шаги выполнены, т. е. решен вопрос о включении в состав финансирования проекта или нет. Для каждого состояния *S* предлагается найти $Wi(S)$ – суммарную максимальную социальную эффективность проектов, которые можно включить в состав финансируемых проектов при данном значении S, и положить $x_i(S) = 1$, если мы включаем в состав финансируемых данный *i*-ый проект, и $x_i(S) = 0$, если не включаем. Величины $x_i(S)$ $(i = 1, 2, ..., n)$ – это условные оптимальные шаговые управления. Их последовательность определяет набор взятых проектов. Они называются условными, так как зависят от состояния S. Перед первым шагом состояние системы характеризуется числом ноль.

Шаг 1. Решаем вопрос о первом проекте. Может быть два состояния системы. Первое состояние характеризуется по-прежнему числом ноль (первый проект не взяли), а второе – некоторой величиной $Fi(S)$ – стоимостью выполнения проекта (первый проект взяли). Им соответствуют коэффициенты социальной эффективности $Wi(S)$.

Шаг 2. Решаем вопрос о втором проекте. Система может оказаться в четырех состояниях. Эти состояния означают соответственно для первых двух проектов: не включить ни одного из них, включить только первый, включить только второй, включить оба в состав финансирования.

Шаг 3. Решаем вопрос о *n* проекте.

После каждого шага анализируем полученные состояния системы. Выявляем бесперспективные состояния и исключаем их из дальнейшего рассмотрения. Чем больше коэффициент социальной эффективности и меньше стоимость реализации проекта, тем больше вероятности, что проект будет финансироваться.

Предложенный алгоритм был реализован в программе Dinamo ver. 1.0. В пакете реализованы следующие функции:

– описание условий задачи, ввод коэффициентов ограничений;

– сохранение созданных портфелей в виде файлов текстового формата;

– формирование оптимальной структуры проектов;

– графическое представление информации, описывающей работу алгоритмов в реальном времени;

– вывод результатов работы алгоритмов на печать.

Общий объем необходимых инвестиций по учреждениям социальной защиты населения в разрезе рассматриваемых типов объектов представлен в табл. 1.

Коэффициент финансирования (*KF*) рассчитывается следующим образом:

Таблица 1

Общий объем необходимых инвестиций по учреждениям социальной защиты

№ п/п	Наθменованθе тθпа оαъекта	Дефθцθт мест в σчрежденθθ	Оαщθй оαъем дополнθтельных капθтальных вложенθй, тыс. рσα.
	Оαразованθе		
1	Среднθе школы	12 139	2 282 132,00
2	Начальные школы	1 186	444 381,15
3	Детскθе сады	6 499	1 017 548,43
4	Дома-θнтернаты	–573	–
	Соцθальная защθта		
1	Престарелые θ θнвалθды	2 810	1 357 044,54
2	Несовершеннолетнθе	–	–
2.1	Соцθальные прθюты	–165	–
2.2	Соцθально-реαθлθтацθонные центры для несовершеннолетнθх	–72	–
2.3	Реαθлθтацθонные центры для детей θ подростков с огранθченнымθ возможностямθ	260	78 581,36
2.4	Дома-θнтернаты для детей θнвалθдов	66	19 947,58
	Здравоохраненθе		
1	Больнθчные σчрежденθя краевого σровня	2 041	1 364 287
2	Больнθчные σчрежденθя районного σровня	853	987 932
3	Амασлаторно-полθклθнθческθе σчрежденθя	–	–
	ВСЕГО		**7 551 854,06**

$$V / D = S,$$

$$\frac{S_i}{\sum_{i-1}^{n} S_i} D = P,$$

$$\frac{P_i}{\sum_{i-1}^{n} P_i} = KF,$$

где V – общий объем дополнительных капитальных вложений; D – дефицит мест в отрасли; S – стоимость финансирования одного места в какой-либо отрасли; P – стоимостная доля, которую занимают дефицитные места какой-либо одной отрасли по отношению к местам по всем отраслям.

Для учреждений социальной защиты населения был составлен собственный ряд по объектам предполагаемого строительства в отрасли.

Состояние и перспективы развития бюджета Красноярского края, позволяют предположить, что на цели капитального строительства в социальной сфере в ближайшие три года будет выделяться не более 500 млн руб. в

Таблица 2

Состав объектов программы выравнивания обеспеченности муниципальных образований объектами социальной сферы

№ п/п	Наθменованθе оαъекта / наθменованθе населенного пσнкта		Фθнансθрованθе нарастающθм θтогом за год, млн рσα.	Стоθмость строθтельства оαъекта, млн рσα.
1	Среднθе оαщеоαразовательные школы			
1.1		Кθровскθй р-он	2,1	40
1.2		Железнодорожный р-он	9,02	132
1.3		Свердловскθй р-он	19,5	200
1.4		Октяαрьскθй р-он	29,98	200
1.5		Ленθнскθй р-он	45,18	290
1.6		Центральный р-он	74,75	564
1.7		Советскθй р-он	144,26	1326
2	Детскθе сады			
2.1		Кθровскθй р-он	0,367 454 068	14
2.2		Железнодорожный р-он	1,154 855 643	30
2.3		Свердловскθй р-он	2,099 737 533	36
2.4		Октяαрьскθй р-он	3,044 619 423	36
2.5		Ленθнскθй р-он	4,409 448 819	52
2.6		Центральный р-он	6,456 692 913	78
2.7		Советскθй р-он	10	135
3	Центры соцθального оαслσжθванθя			
3.1		Центральный р-она	0,80	8
3.2		Железнодорожный района	0,199	12
3.3		Октяαрьского района	0,385	19
3.4		Кθровского района	0,54	16
3.5		Свердловского р-на	0,722	18
3.6		Ленθнского района	0,923	20
3.7		Советского района	1,25	32
4	Соцθально-реαθлθтацθонные центры для несовершеннолетнθх			
4.1		СРЦН «Парσс»	0,74	0,705
4.2		Прθют «Надежда»	0,191	0,12
4.3		СРЦН «Заαота»	0,45	2,5
4.4		СРЦН Ленθнского района	0,7	2,5
4.5		СРЦН «Росток»	1,27	5,35
5	Реαθлθтацθонные центры для детей θ подростков с огранθченнымθ возможностямθ			
5.1		ГРЦ «Радσга»	1,5	300
6	Соцθальная помощь семье θ детям			
6.1		ЦСПСθД «Качθнскθй»	0,73	26
6.2		ЦСПСθД «Первомайскθй»	1,96	44
6.3		ЦСПСθД «Стσдгородок»	3,52	57
6.4		ЦСПСθД «Ветлσжанка»	5,08	57
6.5		ЦСПСθД «Академгородок»	6,65	57
6.6		ЦСПСθД Советского района	10,00	120
7	Больнθчные σчрежденθя краевого σровня			
7.1		ГДКБ 5	1,5	40
8	Больнθчные σчрежденθя районного σровня			
8.1		ГДБ 1	5	106
8.2		ГБ 1	50	844
8.3		ГБ 2	56	132
8.4		ГДБ 8	80	460
9	Амασлаторно-полθклθнθческθе σчрежденθя		231	7400

год. Исходя из этой суммы, а также ранее вычисленных коэффициентов приоритетности финансирования объектов и отраслей социальной сферы, определены объемы финансирования различных типов объектов в рассматриваемых социальных отраслях. Полученные суммы, наряду с рассчитанными среднегодовыми потребностями в капитальных вложениях по объектам, упорядоченным по критерию социальной эффективности, позволили определить состав проектов строительства социальных учреждений в различных отраслях.

С помощь программы Dinamo ver.1.0, основанной на модифицированном методе динамического программирования, был составлен портфель социальных проектов Красноярска. Результат работы программы представлен в табл. 2.

Для метода динамического программирования, в отличие от полного перебора вариантов, увеличение числа шагов не столь критично, это приводит только к пропорциональному возрастанию объема расчетов. Это верно при фиксированном числе состояний на каждом шаге. Важнее при этом сократить число данных состояний, что демонстрирует модифицированный алгоритм.

В данном случае количество операций составило 15, в то время как при полном переборе приходиться выполнять 36 вычислений только для шести проектов.

Особенности данной задачи позволили модифицировать метод динамического программирования и отбраковать не только варианты достижения промежуточных состояний, но и сами бесперспективные промежуточные состояния.

Предложенная методика с использованием модифицированного алгоритма динамического программирования позволяет эффективно решать задачи распределения ограниченных ресурсов по объектам социальной сферы.

Предложенный метод определения исходной информации по объектам социальной инфраструктуры является основой формирования информационной базы и позволяет в автоматизированном режиме получать в зависимости от запроса необходимую информацию об объектах социальной сферы и на их основе планировать капитальные вложения на строительство новых, расширение, реконструкцию и техническое перевооружение действующих социальных учреждений.

При сложившейся практике финансирования капитального строительства в социальной сфере в среднесрочной перспективе возможно решение только наиболее острых проблем, причем при условии максимального использования объектов незавершенного строительства.

В социальных отраслях, не допускающих перераспределения потребителей социальных услуг между объектами данного типа, располагающимися в различных субъектах, возникают существенные диспропорции в обеспеченности.

Представляется, что использование предложенного в работе методического подхода позволит решить проблему наиболее эффективного использования ограниченных бюджетных средств для капитального строительства в социальной сфере, в том числе за счет повышения загрузки учреждений социальными услугами других отраслей.

Библиографический список

1. Ерыгин, Ю. В. Разработка методики и программ по обеспечению выравнивания уровня социально-экономического развития муниципальных образований края / Ю. В. Ерыгин. Красноярск : ИМСТ, 2004.

2. Антамошкин, А. Н. Регулярный алгоритм оптимизации загрузки оборудования / А. Н. Антамошкин, Д. А. Дегтерев, И. С. Масич // Информационные недра Кузбасса : сб. науч. тр. конф. Кемерово : КемГУ, 2003. С. 59–61.

O. A. Antamoshkin, M. A. Zinchenko

OPTIMUM DISTRIBUTION OF SOCIAL INVESTMENTS

The decision of a problem of formation of a portfolio of social investments by means of the modified method of dynamic programming is offered.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Алексеев Никита Александрович – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный технологический университет в 2004 г. Область научных интересов – программно-алгоритмическое обеспечение планирования задач в информационно-управляющих системах, автоматизированные системы, качество программного обеспечения систем управления и обработки информации.

Антамошкин Олеслав Александрович – кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил магистратуру Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева в 2003 г. Область научных интересов – системный анализ, управление проектами, методы поддержки принятия решений.

Богданова Ольга Витальевна – аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Государственный университет цветных металлов и золота в 2003 г. Область научных интересов – программно-алгоритмическое обеспечение планирования задач в информационно-управляющих системах, автоматизированные системы, качество программного обеспечения систем управления и обработки информации.

Белякова Галина Яковлевна – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имен академика М. Ф. Решетнева. Окончила Ленинградский технологический институт целлюлозно-бумажной промышленности. Область научных интересов – региональная экономика.

Бойко Андрей Анатольевич – кандидат экономических наук, заведующий кафедрой менеджмента Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский институт космической техники в 1990 г. Область научных интересов – управление воспроизводством основных производственных фондов предприятий машиностроительного комплекса.

Бревнова Анна Григорьевна – аспирант кафедры международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2006 г. Область научных интересов – менеджмент внедрения информационных систем.

Веретенников Евгений Александрович – аспирант кафедры информатики Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский федеральный университет в 2007 г. Область научных интересов – разработка программного обеспечения, инструментальные средства разработки трансляторов.

Ворожейкин Антон Юрьевич – студент магистратуры Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 2006 г. Область научных интересов – эволюционные алгоритмы оптимизации, поддержка принятия решений.

Ворошилов Владимир Павлович – кандидат технических наук, доцент, заместитель директора Красноярского филиала Московского государственного университета экономики, статистики, информации. Окончил Сибирский государственный технологический институт в 1973 г. Область научных интересов – информационные системы в экономике.

Гомонова Ольга Валерьевна – ассистент кафедры высшей математики, аспирант Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный педагогический университет имени В. П. Астафьева в 2004 г. Область научных интересов – уравнение математической физики, дифференциальные уравнения, теория пластики.

Ермолаева Любовь Викторовна – старший преподаватель кафедры информационных технологий и математического моделирования Красноярского государственного торгово-экономического института. Окончила Красноярский государственный университет. Область научных интересов – информационные технологии.

Есалов Владимир Александрович – оперуполномоченный управления безопасности по экономическим преступлениям ГУВД Красноярского края. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2003 г. Область научных интересов – информационные системы в экономике.

Ефимов Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры информационно-управляющих систем Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1991 г. Область научных интересов – автоматизация проектирования многопроцессорных вычислительных систем обработки информации и управления в режиме времени.

Журов Александр Викторович – аспирант кафедры прикладной математики Красноярского государственного аграрного университета. Окончил Красноярский государственный университет. Область научных интересов – численные методы.

Зеленков Павел Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры ЮНЕСКО Сибирского государственного университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2002 г. Область научных интересов – мультилингвистические методы поиска и обработки текстовой информации, проектирование информационных систем.

Зинченко Мария Александровна – аспирант кафедры системного анализа и исследования операций 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 – системный анализ, уп-

равление проектами, методы поддержки принятия решений.

Иванов Владимир Васильевич – начальник сектора отдела исследований космической среды ФГУП «Научно-производственное объединение прикладной механики имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Красноярский государственный университет в 1989 г. Область научных интересов – взаимодействие космического аппарата с факторами космического пространства естественного и техногенного происхождения.

Иванов Николай Васильевич – магистр техники и технологии Политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технологический институт в 2004 г. Область научных интересов – моделирование сложных объектов и систем.

Иванчура Владимир Иванович – доктор технических наук, профессор кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок Сибирского государственного университета. Окончил Томский политехнический институт в 1967 г. Область научных интересов – автоматизированный электропривод и системы управления.

Кагиров Рафис Рафисович – аспирант кафедры системного анализа Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2005 г. Область научных интересов – псевдобулевая оптимизация, методы роевого интеллекта.

Карасева Маргарита Владимировна – кандидат технических наук, доцент кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – мультилингвистическая технология обучения иностранным языкам, разработка частотных терминологических словарей.

Карцан Игорь Николаевич – преподаватель факультета военного обучения Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, начальник студенческого центра управления полетами «Орион» Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярское высшее командное училище радио и электроники в 1999 г. Область научных интересов – интеллектуальные системы в радиолокации, интеллектуализация поиска и обработки информации в Интернет.

Кацура Александр Владимирович – кандидат технических наук, доцент кафедры технической эксплуатации летательных аппаратов и двигателей института гражданской авиации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Киевский институт инженеров гражданской авиации в 1978 г. и Иркутский политехнический институт в 1982 г. Область научных интересов – техническая эксплуатация летательных аппаратов, безопасность полетов.

Клешков Владимир Михайлович – кандидат технических наук, заслуженный инженер Российской Федерации, директор химического завода – филиала ФГУП «Красмаш». Окончил Казанский авиационный институт. Область научных интересов – механизмы реструктуризации промышленных предприятий, модели и методы управления организационными системами.

Ковалев Дмитрий Владимирович – соискатель кафедры международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярскую государственную академию цветных металлов и золота в 1997 г. Область научных интересов – управление инновациями и инвестиционной деятельностью.

Ковалев Игорь Владимирович – доктор технических наук, профессор, проректор по научной работе 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.

Коренная Светлана Владимировна – руководитель отдела Сибирского отделения Международного центра логистики. Окончила Санкт-Петербургский институт управления и экономики в 2005 г. Область научных интересов – маркетинговые исследования и анализ инфраструктур.

Краснобаев Юрий Вадимович – доцент кафедры систем автоматики, автоматизированного управления и проектирования Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1983 г. Область научных интересов – автоматизация исследования и проектирования вторичных источников питания.

Кривенков Максим Владимирович – ассистент кафедры электропривод и автоматизация промышленных установок Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2004 г. Область научных интересов – системы нечеткого управления электроприводами.

Крушенко Генрих Гаврилович – доктор технических наук, профессор кафедры двигателей летательных аппаратов, главный научный сотрудник отдела машиноведения института вычислительного моделирования СО РАН. Окончил Омский машиностроительный институт в 1955 г. Область научных интересов – экономика научных исследований, включая нанотехнологии.

Кузнецов Александр Алексеевич – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры прикладной математики Красноярского государственного аграрного университета. Окончил Красноярский государственный университет. Область научных интересов – численные методы.

Кузнецов Александр Сергеевич – старший преподаватель кафедры информатики Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 1997 г. Область научных интересов – технологии разработки программного обеспечения, мультисинтаксические языки про-

граммирования, инструментальные средства разработки трансляторов.

Кукарцев Анатолий Михайлович – инженер кафедры безопасности информационных технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – дискретная математика, информационные технологии, криптография, безопасность информационных технологий.

Кустов Денис Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры информационных технологий Сибирского федерального университета. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2003 г. Область научных интересов – интеллектуализация информационных технологий, адаптация модели пользователя.

Лазаревич Александр Николаевич – директор ООО «Производственно-коммерческое предприятие „Развитие“». Окончил Сибирский технологический институт в 1974 г., Красноярский институт цветных металлов и золота в 1982 г. Область научных интересов – региональная экономика.

Лопатин Александр Витальевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой компьютерного моделирования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1979 г. Область научных интересов – механика деформированного тела.

Лукасов Виктор Васильевич – кандидат технических наук, доцент кафедры конструкций летательных аппаратов и двигателей института гражданской авиации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Барнаульское высшее военно-авиационное училище летчиков в 1972 г. Область научных интересов – летная и техническая эксплуатация воздушных судов.

Лукиных Валерий Федорович – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры международного бизнеса Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский политехнический институт в 1972 г. Область научных интересов – логистика, интегрированные цепи поставок.

Максимов Игорь Александрович – начальник отдела исследований космической среды ФГУП «Научно-производственное объединение прикладной механики имени академика М. Ф. Решетнева». Окончил Красноярский государственный университет в 1989 г. Область научных интересов – взаимодействие космического аппарата с факторами космического пространства естественного и технического происхождения.

Мартус Марина Андреевна – аспирант экономического факультета Института архитектуры и строительства Сибирского федерального университета. Окончила Красноярскую государственную академию строительства и архитектуры в 2005 г. Область научных интересов – проблемы российского менеджмента, управления инвестиционной привлекательностью предприятия, повышения эффективности проектного менеджмента в стройиндустрии.

Мартынова Лариса Александровна – кандидат физико-математических наук, доцент кафедры высшей математики Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский государственный университет в 1987 г. Область научных интересов – алгебра.

Медведев Алексей Викторович – кандидат физико-математических наук, докторант кафедры системного анализа и исследования операций. Окончил Кемеровский государственный университет в 1984 г. Область научных интересов – экономико-математическое моделирование, инвестиционный анализ, динамическая оптимизация.

Медведев Владимир Липатович – директор института гражданской авиации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил Красноярский государственный университет в 1982 г. Область научных интересов – оптимизация транспортных потоков.

Моргунов Евгений Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал политехнического института в 1985 г. Область научных интересов – исследование эффективности сложных систем.

Надирадзе Андрей Борисович – доктор технических наук, профессор, ведущий научный сотрудник кафедры электроракетных двигателей и энергетических установок Московского авиационного института (государственного технического университета). Окончил Московский авиационный институт в 1985 г. Область научных интересов – прогнозирование воздействия собственной атмосферы, плазмы электроракетных двигателей и метеорного вещества на функционирование космического аппарата.

Никушкин Николай Викторович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой конструкций летательных аппаратов и двигателей института гражданской авиации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1983 г. Область научных интересов – конструирование и прочность летательных аппаратов.

Пожаркова Ирина Николаевна – аспирант кафедры систем автоматики, автоматизированного управления и проектирования политехнического института Сибирского государственного университета. Окончила Красноярский государственный технический университет в 2003 г. Область научных интересов – автоматизация исследования и проектирования вторичных источников питания.

Панько Василий Сергеевич – технический директор ООО «ТоксСофт-Сибирь». Окончил Красноярский государственный технический университет в 1996 г. Область научных интересов – директорные антенны, программные средства их разработки и оптимизации.

Пахомов Александр Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры электропривода и автоматизации промышленных установок Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский государственный технический университет в 2000 г. Область научных интересов – микропроцессорное управление электроприводами.

Решетникова Светлана Николаевна – заведующая методическим кабинетом при диссертационном совете Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Красноярский институт цветных металлов и золота в 1980 г. Область научных интересов – технология производства деталей машин машиностроительного профиля.

Рыбакова Елена Сергеевна – ассистент кафедры менеджмента Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2004 г. Область научных интересов – формирование инвестиционных ресурсов воспроизводства основных производственных фондов.

Рутковская Марина Александровна – ассистент кафедры компьютерного моделирования Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф Решетнева. Окончила Сибирскую аэрокосмическую академию имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – метод конечных элементов, разворачивающиеся конструкции, моделирование антенн.

Саломатов Юрий Петрович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой радиофизики политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Красноярский политехнический институт в 1973 г. Область научных интересов – антенны и устройства СВЧ.

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, системы поддержки принятия решений, эволюционные алгоритмы.

Семенкина Мария Евгеньевна – студентка факультета математики и информатики Сибирского федерального университета, лауреат Премии президента РФ для поддержки молодежи, обладатель научного кубка России (в составе команды Сибирского федерального университета). Область научных интересов – эволюционные алгоритмы, интеллектуальные информационные технологии.

Семенкина Ольга Эрнестовна – доктор технических наук, профессор кафедры системного анализа и исследования операций Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – дискретная оптимизация, моделирование сложных систем.

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 экономике.

Спирин Александр Владимирович – кандидат экономических наук, заместитель генерального директора по финансовым вопросам ОАО «Барнаульский ТрансМаш». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева в 2005 г. Область научных интересов – управление процессами промышленных предприятий.

Слюсарчук Валентин Федорович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой системного анализа и управления Политехнического института Сибирского федерального университета. Окончил Томский политехнический институт в 1960 г. Область научных интересов – аналитический синтез систем.

Старовойтов Сергей Александрович – студент кафедры безопасности информационных технологий Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – криптография, теория чисел, информационные технологии.

Тынченко Валерия Валерьевна – старший преподаватель кафедры информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончила Киевский политехнический институт в 1986 г. Область научных интересов – моделирование и оптимизация многопроцессорных вычислительных систем, параллельные вычисления.

Тынченко Вадим Сергеевич – студент магистратуры Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева, стипендиат Правительства Российской Федерации. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени академика М. Ф. Решетнева. Область научных интересов – интеллектуальные информационные технологии, оптимизация сложных систем.

Чирков Павел Рудольфович – старший преподаватель кафедры конструкций летательных аппаратов и двигателей Института гражданской авиации Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. Окончил завод-втуз – филиал Красноярского политехнического института в 1985 г. Область научных интересов – аэромеханика, математические методы моделирования.

Чудаев Дмитрий Анатольевич – ведущий специалист департамента финансов администрации г. Красноярска. Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет имени М. Ф. Решетнева в 2007 г. Область научных интересов – экономика, право, политика.

Фаворская Маргарита Николаевна – кандидат технических наук, доцент кафедры информатики и вычислительной техники Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решет-

нева. Окончила Рыбинский авиационный технологический институт в 1980 г. Область научных интересов – искусственный интеллект, распознавание образов.

Шапошников Владимир Владимирович – старший сотрудник НИО-28 Московского авиационного института (государственного технического университета). Окончил Московский авиационный институт в 1980 г. Область научных интересов – электростатическая зарядка и активная нейтрализация космического аппарата, проблемы совместимости электроракетных двигателей с космическими аппаратами.

Шестаков Василий Сергеевич – программист ОАО «Сибавиатранс». Окончил Сибирский государственный аэрокосмический университет в 2007 г. Область научных интересов – информационные технологии, языки программирования, программирование.

Якищик Ольга Леонидовна – кандидат экономических наук, доцент кафедры управления производством Сибирского федерального управления. Окончила Красноярский государственный аграрный университет. Область научных интересов – управление интеллектуальным капиталом, экономика знаний.

Яркова Светлана Анатольевна – старший преподаватель Сибирского государственного технического университета. Окончила Алма-Атинский энергетический институт в 1993 г., Санкт-Петербургский институт внешнеэкономических связей экономики и права в 1997 г. Область научных интересов – адаптивные системы обучения, обучающие технологии, среды и оболочки.

СОДЕРЖАНИЕ

РАЗДЕЛ 1. МАТЕМАТИКА, МЕХАНИКА, ИНФОРМАТИКА 3

Фаворская М. Н. Вероятностные методы сегментации видеопотока как задача с недостающими данными 4
Кукарцев А. М., Старовойтов С. А., Шестаков В. С. Среда разработки композиционных криптосистем 8
Мартынова Л. А. Описание идеалов лиева кольца $NE_6(K)$ 14
Кагиров Р. Р. Многомерная задача о рюкзаке: новые методы решения 16
Алексеев Н. А., Богданова О. В., Волков А. А. Планирование задач при мультиресурсной реализации алгоритмов распределенной обработки информации и управления 20
Тынченко В. В. Многокритериальная оптимизация структуры нейросетевых моделей параллельными генетическими алгоритмами 23
Семенкин Е. С., Семенкина М. Е. Применение генетического алгоритма с модифицированным оператором равномерной рекомбинации при автоматизированном формировании интеллектуальных информационных технологий 27
Иванов Н. В., Слюсарчук В. Ф. Иерархические кусочно-линейные модели наблюдений многомерных объектов 33
Медведев А. В. О применении *z*-преобразования к анализу многокритериальных линейных моделей экономической динамики 37
Ворожейкин А. Ю., Семенкин Е. С. Вероятностный генетический алгоритм для задач многокритериальной оптимизации 41
Ефимов С. Н., Тынченко В. В., Тынченко В. С. Проектирование вычислительной сети эффективной архитектуры для распределенного решения сложных задач 46
Сенашов С. И., Гомонова О. В. Эволюция характеристик решений двумерных уравнений идеальной пластичности 51
Алексеев Н. А., Богданова О. В. Автоматизированная система оперативного производственного планирования и управления 55
Моргунов Е. П. Система поддержки принятия решений при исследовании эффективности сложных систем: принципы разработки, требования и архитектура 59
Якищик О. Л., Клешков В. М., Семенкина О. Э. Применение алгоритма оценки и формирования внутренней среды, способствующей распространению знаний на машиностроительном предприятии 64
Карасева М. В., Карцан И. Н., Зеленков П. В. Метапоисковая мультилингвистическая система 69
Карцан И. Н., Кустов Д. В., Яркова С. А. Активная модель мультиязычных запросов пользователя в информационно-управляющих системах 70
Ковалев И. В., Кузнецов А. С., Веретенников Е. А. Автоматизация процесса генерации компиляторов мультисинтаксических языков программирования 73
Кузнецов А. А., Журов А. В. К вопросу о выборе констант в методах экспоненциального сглаживания при анализе временных рядов 76

РАЗДЕЛ 2. АВИАЦИОННАЯ И РАКЕТНО-КОСМИЧЕСКАЯ ТЕХНИКА 77

Лопатин А. В., Рутковская М. А. Обзор конструкций современных трансформируемых космических антенн (Часть 2) 78
Чирков П. Р., Никушкин Н. В. Адаптивные крыльевые системы в приложении к обеспечению апериодической продольной устойчивости экраноплана вблизи опорной поверхности 82
Лукасов В. В., Кацура А. В. Распознавание неисправностей систем и агрегатов воздушных судов с применением вероятностного метода Байеса 84
Иванов В. В., Максимов И. А., Надирадзе А. Б., Шапошников В. В. Механизмы воздействия плазмы электроракетных двигателей на работу бортовой аппаратуры космических аппаратов 87

Краснобаев Ю. В., Пожаркова И. Н. Определение допустимых значений выходного импеданса автономной системы электропитания 91
Краснобаев Ю. В. Амплитудно-импульсная модель силовых цепей стабилизаторов напряжения 96
Кривенков М. В., Пахомов А. Н., Иванчура В. И. Нечеткий регулятор скорости в частотно-управляемом асинхронном электроприводе 100
Крушенко Г. Г., Решетникова С. Н. Применение и перспективы развития нанотехнологий 103
Панько В. С., Саломатов Ю. П. Двухчастотное согласование комплексных нагрузок с помощью двойного Г-звена 106

РАЗДЕЛ 3. ЭКОНОМИКА 111

Пахомова Н. Я. Реструктуризация алюминиевой корпорации на примере выделения вспомогательного производства алюминиевых заводов «Русал» 112
Рыбакова Е. С. Методика формирования инвестиционных ресурсов воспроизводства основных производственных фондов предприятий машиностроительного комплекса 115
Бойко А. А., Рыбакова Е. С. Формирование инвестиционных ресурсов воспроизводства основных производственных фондов предприятий машиностроительного комплекса 118
Ковалев Д. В. Реализация модели мотивации инновационной деятельности 122
Чудаев Д. А. Правовое регулирование налога на добычу полезных ископаемых в газодобывающей промышленности: перспективы развития 126
Бревнова А. Г., Спирин А. В. Анализ моделей зрелости процессов управления с позиции внедрения ERP-систем 130
Есалов В. А. Управление информационной системой малого предприятия в условиях развития 134
Есалов В. А., Ворошилов В. П. Повышение эффективности использования информационных систем промышленных предприятий малого и среднего бизнеса 138
Чудаев Д. А., Белякова Г. Я. Основные направления налоговой политики Российской Федерации 142
Мартус М. А., Крушенко Г. Г. Повышение эффективности функционирования предприятия на основе мониторинга и управления стоимостью 147
Лазаревич А. Н. Инструменты прогнозирования социально-экономического развития муниципального образования 151
Ермолаева Л. В., Сенашов С. И. GERT-сетевой анализ производственных процессов 157
Медведев В. Л., Лукиных В. Ф. Методика поэтапного реформирования региональной подсистемы товаропроводящей сети 160
Лукиных В. Ф., Медведев В. Л., Коренная С. В. Анализ инфраструктурных условий развития региональной подсистемы товаропроводящей сети 164
Антамошкин О. А., Зинченко М. А. Оптимальное распределение социальных инвестиций 168

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ 173

CONTENTS

PART 1. MATHEMATICS, MECHANICS, INFORMATICS 3

Favorskaya M. N. Probabilistic methods of videoflow segmentation as the problem with missing data 8
Kukartsev A. M., Starovoitov S. A., Shestakov V. S. Composition cryptosystem integrated development environment 13
Martynova L. A. Description of ideals of lie rings $NE_6(K)$ 16
Kagirov R. R. Multiple knapsack problem: new solving methods 20
Alexeev N. A., Bogdanova O. V., Volkov A. A. The planing of problems when multi-resources realizing the distributed information processing and control algorithms 23
Tynchenko V. V. Multiobjective optimization of neural network models structure with parallel genetic algorithms 27
Semenkin E. S., Semenkina M. E. Application of genetic algorithm with modified uniform recombination operator for automated implementation of intelligent information technologies 33
Ivanov N. V., Slusarchuk V. F. Hierarchical linear-piece models of multidimensional objects observations 36
Medvedev A. V. To the *z*-transformation apply for the analysis of the multycriterial line optimal control problem of economic dynamics 41
Vorozheykin A. Y., Semenkin E. S. Probabilistic genetic algorithm for multi-objective optimization 45
Efimov S. N., Tynchenko V. V., Tynchenko V. S. Design of computing network with efficient architecture for complex problems distributed solving 51
Senashov S. I., Gomonova O. V. Evolution of the characteristics of solutions to the 2-dimensional equations of ideal plasticity 55
Alexeev N. A., Bogdanova O. V. Automatik system of operative produktion planning and management 58
Morgunov E. P. Decision support system for efficiency assessment of complex systems: design principles, requirements, and architecture 63
Yakischik O. L., Kleshkov V. M., Semenkina O. E. Use of algorithm of knowledge spreading internal environment forming and evaluation on machine-building enterprise 69
Karasev M. V., Kartsan I. N., Selenkov P. V. Meta-search multi-linguistic system 70
Kartsan I. N., Kustov D. V., Jarkova S. A. The active model of multi-linguistic user's demands in information management systems 72
Kovalev I. V., Kuznecov A. S., Veretennikov E. A. Automation of process of multi-syntax programming language compilers generation 75
Kuznetsov A. A., Zhurov A. V. To the question of constants choice in methods of exponential smoothing in analysis of time series 76

PART 2. AVIATION AND SPACE-ROCKET ENGINEERING 77

Lopatin A. V., Rutkovskaya M. A. The review of designs of modern transformed space antennas (Part 2) 81
Chirkov P. R., Nikushkin N. V. Adaptive wing systems in the appendix to security of aperiodic longitudinal ecranoplan stability a near to a reference surface 84
Lukasov V. V., Katsura A. V. Recognition of malfunction of systems and units of air courts with Beies probability method application 87
Ivanov V. V., Maksimov I. A., Nadiradze A. B., Shaposhnikov V. V. Mechanisms of the electro-jet thruster impacts on the operation of the spacecraft on board equipment 91
Krasnobaev U. V., Pozharkova I. N. Definition of target impedance admissible values of independent power supply system 96

Krasnobayev U. V. Amplitude-pulse model of voltage stabilizer power circuits 100
Krivenkov M. V., Pakhomov A. N., Ivanchura V. I. Fuzzy controller of speed
in frequency-controlled the asynchronous electric drive 103
Krushenko G. G., Reshetnikova S. N. Current status and the future trends of the nanotechnologies 106
Panko V. S., Salomatov Yu. P. Two-frequency matching of complex loadings by means of double l-cell 109

PART 3. ECONOMICS 111

Pahomova N. Ya. The restructuring of the aluminium corporation on the example
of allocation of the subsidiary production of rusal aluminium plants 115
Rybakova E. S. The technique for forming of reproduction investment resources
of machine-building enterprises basic production assets 118
Boyko A. A., Rybakova E. S. The forming of reproduction investment resources
of machine-building enterprises basic production assets 121
Kovalev D. V. Realization of the mock-up of motivation of the innovate activity 126
Chudaev D. A. Regulation tax to mining operations in the gas industry: prospects of development 130
Brevnova A. G., Spirin A. V. Analisys of maturity models of management prosesses
for implementation of ERP-systems 134
Esalov V. A. Management of information system of a small enterprise in conditions of development 138
Esalov V. A., Voroshilov V. P. Increase of using efficiency of small and average industrial
enterprises information systems 141
Chudaev D. A., Belyakova G. Y. The basic directions of a tax policy of the russian federation 146
Martus M. A., Krushenko G. G. Increase of operating benefits on the base of monitoring
and managing company's value 150
Lazarevich A. N. Tools of forecasting of social and economic development of municipal formation 157
Ermolaeva L. V., Senashov S. I. GERT-net analysis of production processes 160
Medvedev V. L., Lukinih V. F. Methodic of the phased change of the regional subsystem
of commodity distribution network 163
Lukinih V. F., Medvedev V. L., Korennaya S. V. The analysis of the infrastructure conditions
of the regional subsystem of commodity distribution network development 168
Antamoshkin O. A., Zinchenko M. A. Optimum distribution of social investments 172

THE INFORMATION ABOUT THE AUTHORS 173