CONTROL SCIENCES

Научно-технический журнал
6 номеров в год
ISSN 1819-3161

УЧРЕДИТЕЛЬ
Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Главный редактор
Д.А. Новиков

Заместители главного редактора
Л.П. Боровских, Ф.Ф. Пащенко

Редактор
Т.А. Гладкова

Выпускающий редактор
Л.В. Петракова

Издатель
ООО «СенСиДат-Контрол»

Адрес редакции
117997, ГСП-7, Москва,
ул. Профсоюзная, д. 65, к. 272.
Тел./факс (495) 334-92-00

E-mail: pu@ipu.ru
www.ipu.ru/period/pu

Оригинал-макет
и электронная версия
подготовлены
ООО «ЭЛЕКТРОНИНФОРМ»

Отпечатано с готовых диапозитивов
в типографии ГКС

Подписано в печать
11.03.2007 г.

Заказ № РВ207

Журнал зарегистрирован
в Министерстве
Российской Федерации
по делам печати,
телерадиовещания
и средств массовых
коммуникаций

Свидетельство о регистрации
ПИ №77-11963
от 06 марта 2002 г.

Журнал входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук

Подписные индексы:
81708 в каталоге Роспечати
38006 в объединенном каталоге
«Пресса России»

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

2.2007

СОДЕРЖАНИЕ

Анализ и синтез систем управления

Лыченко Н. М. Декомпозиционно-координационная оптимизация с параллельной обработкой информации для нелинейных динамических систем . . . 2

Жуков В. П. Об условиях, определяющих характер устойчивости некоторых классов нелинейных динамических систем . . . 8

Информационные технологии в управлении

Абрамова Н. А. О проблеме рисков из-за человеческого фактора в экспертных методах и информационных технологиях . . . 11

Подлазов В. С., Соколов В. В. Метод однородного расширения сетей связи многопроцессорных вычислительных систем . . . 22

Твердохлебов В. А. Методы интерполяции в техническом диагностировании . . . 28

Ведешенков В. А. Подход к контролю больших цифровых систем со структурой типа тороидальной решетки . . . 35

Чобану М. К. Системы многоскоростной обработки многомерных сигналов. Ч. I . 40

Управление в социально-экономических системах

Цыганов В. В., Аржаков М. В., Багамаев Р. А. Ранговые адаптивные механизмы . 46

Щепкина М. А. Оптимизация параметров механизма стимулирования . . . 52

Богачкова Л. Ю., Савицкий Е. В. Моделирование диверсификации цен на европейском газовом рынке и совершенствование стратегии экспорта российского газа . . . 56

Гладков Ю. М., Микрин Е. А, Шелков А. Б. Анализ и синтез механизмов минимизации аудиторского риска . . . 61

Самохина А. С. Алгоритм оценки проектов построения антитеррористического мониторинга в системе предотвращения биологической чрезвычайной ситуации . . 66

Философские вопросы управления

Русяева Е. Ю. Сравнительный анализ управления социальными системами Китая, Запада и России на современном этапе . . . 71

Краткие сообщения

Нюдюрбегов А. Н. Выбор вариантов эксплуатации рыбопромысловых судов, плана их модернизации и продажи . . . 78

Колемаев В. А. Синтез упреждающего аналога модели Самуэльсона—Хикса . . . 80

Дорофеюк А. А., Чернявский А. Л. Алгоритмы построения хорошо интерпретируемых классификаций . . . 83

Хроника

Первая Российская мультиконференция по проблемам управления. Аналитический обзор . . . 85

«Управление инновациями — 2006»: стратегия инновационного развития России . . . 88

Мероприятия IFAC — Международной федерации по автоматическому управлению . . . 94

* * *

Contents and abstracts . . . 95

УДК 62.50

ДЕКОМПОЗИЦИОННО-КООРДИНАЦИОННАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ С ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКОЙ ИНФОРМАЦИИ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Н. М. Лыченко

Кыргызско-Российский Славянский университет, г. Бишкек

Предложена процедура синтеза оптимального координированного децентрализованного управления взаимосвязанными нелинейными динамическими системами большой размерности. Синтез алгоритмов базируется на методе декомпозиционно-координационной оптимизации с адаптацией критерия в двухуровневой структуре решения, в соответствии с которым на верхнем уровне фиксируются координирующие переменные, а на нижнем уровне решаются независимые оптимизационные подзадачи. Для получения вычислительных преимуществ предложено в двухуровневой структуре решения использовать параллельную схему вычисления координирующих переменных, при этом оптимизационные подзадачи нижнего уровня также решаются параллельно.

ВВЕДЕНИЕ

Для решения задач оптимального управления большими динамическими системами, характеризующимися взаимодействиями между отдельными составляющими этих систем, традиционно применяется декомпозиционно-координационный подход [1], суть которого заключается в следующем. Глобальная система декомпозируется на множество отдельных подсистем, а глобальная задача управления — на множество отдельных подзадач. Для решения глобальной задачи используются двух- или многоуровневые структуры с координирующими переменными. Схема поиска решения — итеративная. На нижнем уровне множество подзадач имеют независимые друг от друга решения, в то время как на верхнем уровне координирующие переменные, принимая определенные значения, обеспечивают сходимость итеративной процедуры.

Структурная природа декомпозиционно-координационных алгоритмов соответствует современным тенденциям в вычислительных системах, направленным на параллельные и распределенные вычисления [2]. Применение таких вычислительных возможностей дает преимущества в плане объема требуемой памяти и времени вычисления и особенно эффективно, если компьютерная сеть увязана с информационными выходами в исследуемой системе.

В настоящей работе предложено для получения вычислительных преимуществ в двухуровневой структуре решения промежуточной оптимизационной задачи использовать параллельную схему вычисления координирующих переменных. Отличительная особенность предложенной схемы состоит в том, что координирующие переменные не являются общими для всех подсистем и фиксированными на всей итерации, а переопределяются для каждой из подсистем по мере появления информации об их состояниях. Эквивалентные оптимизационные задачи, решаемые на нижнем уровне двухуровневой вычислительной процедуры, обрабатываются параллельно. Приводится численный пример, подтверждающий эффективность предложенной процедуры синтеза.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассматривается задача синтеза управления для взаимосвязанных систем большой размерности, состоящих из совокупности M подсистем, каждая из которых

в общем случае (для непрерывных систем) описывается уравнением

$$\dot{x}_i(t) = A_i x_i(t) + B_i u_i(t) + \varphi_i(x, u, t) + \mu_i(t),$$
$$\forall i = 1, \ldots, M, \quad x_i(t_0) = x_{i0}, \qquad (1)$$

или в составной форме записи:

$$\dot{x}_i(t) = A_d x(t) + B_d u(t) + \varphi(x, u, t) + \mu(t), \quad x(t_0) = x_0.$$

Здесь $x_i(t) \in \Re^{n_i}$ и $u_i(t) \in \Re^{m_i}$ — векторы состояний и управлений i-й подсистемы соответственно, $x_{i0} \in \Re^{n_i}$ — заданное начальное состояние i-й подсистемы; $x(t) \in \in \Re^{n_1 + \ldots + n_M}$ и $u(t) \in \Re^{m_1 + \ldots + m_M}$ — составные векторы состояния и управления всей системы; $\sum_{i=1}^{M} n_i = n$, $\sum_{i=1}^{M} m_i = m$; $A_i \in \Re^{n_i \times n_i}$, $B_i \in \Re^{n_i \times m_i}$ — известные матрицы коэффициентов, характеризующие линейную динамику i-й подсистемы (A_i, B_i — управляемые пары), а матрицы $A_d \in \Re^{n \times n}$ и $B_d \in \Re^{n \times m}$ — динамику всей системы; $\varphi(x, u, t) \in \Re^n$ — известная векторная нелинейная функция, характеризующая нелинейные взаимосвязи между подсистемами и нелинейные части динамики подсистем, составленная из $\varphi(x, u, t) \in \Re^{n_i}$; $\mu(t) \in \Re^n$ — вектор известных возмущений с компонентами $\mu(t) \in \Re^{n_i}$.

Таким образом, исходная система априорно задана или может быть представлена в виде совокупности взаимодействующих между собой подсистем, динамика которых определяется собственными состояниями и состояниями других подсистем.

Задача заключается в нахождении вектора управлений $u_1(t)$, ..., $u_i(t)$, ..., $u_M(t)$ такого, что следующий в общем несепарабельный показатель качества всей системы будет минимальным:

$$2J = \|x(t_f)\|^2_{Q_{1d}} + \int_{t_o}^{t_f} (\|x(t)\|^2_{Q_{1xd}} + \|u(t)\|^2_{R_d} + \psi(x, u, t))\, dt. \qquad (2)$$

Здесь $Q_{1d} \in \Re^{n \times n}$, $Q_{1xd} \in \Re^{n \times n}$ — симметричные неотрицательно определенные блочно-диагональные матрицы ($Q_{1d} = Q_{1d}^T$, $Q_{1d} \geqslant 0$, $Q_{1xd} = Q_{1xd}^T$, $Q_{1xd} \geqslant 0$); $R_d \in \Re^{m \times m}$ — симметричная положительно определенная блочно-диагональная матрица ($R_d = R_d^T$, $R_d > 0$); $\psi(x, u, t)$ — некоторая выпуклая функция. Несепарабельность критерия (2) заключается в том, что глобальный критерий не имеет аддитивной формы по отношению к подсистемам.

2. ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ОПТИМИЗАЦИИ ВЗАИМОСВЯЗАННЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В соответствии с декомпозиционно-координационным подходом [1] применим к решению поставленной задачи оптимального управления двухуровневую схему.

Согласно методу прогноза взаимодействий [1, 3, 4], зададим на верхнем уровне процедуры решения некоторые переменные $\bar{x}(t)$ и $\bar{u}(t)$, называемые *координирующими переменными*, и будем использовать их на нижнем уровне как известные функции времени. Это позволит декомпозировать исходную оптимизационную задачу на ряд независимых подзадач.

Пусть

$$\bar{x}(t) = x(t), \ \bar{u}(t) = u(t). \qquad (3)$$

Тогда, используя переданные с верхнего уровня координирующие переменные (3), можно зафиксировать нелинейные функции в модели системы (1) и несепарабельные слагаемые в критерии (2), сделав его тем самым аддитивно сепарабельным.

В результате исходная задача оптимизации будет эквивалентна (в силу выполнения ограничений (3)) следующей *эквивалентной оптимизационной задаче*:

минимизировать

$$2J = \|x(t_f)\|^2_{Q_{1d}} + \|x(t_f) - \bar{x}(t_f)\|_{Q_{2d}} + \int_{t_o}^{t_f} (\|x(t)\|^2_{Q_{1xd}} + \|u(t)\|^2_{R_d} + \psi(\bar{x}, \bar{u}, t)))\, dt + \int_{t_o}^{t_f} (\|x(t) - \bar{x}(t)\|^2_{Q_{2xd}} + \|u(t) - \bar{u}(t)\|^2_{Q_{2ud}})\, dt$$

при ограничениях (3) и

$$x(t) = A_i x_i(t) + B_i u_i(t) + \varphi_i(\bar{x}, \bar{u}, t) + \mu_i(t),$$
$$\forall i = 1, \ldots, M.$$

Здесь блочно-диагональные весовые матрицы соответствующих размерностей Q_{2d}, Q_{2xd} и Q_{2ud} введены в критерий эквивалентной задачи для последующих упрощений вычислений [3] и влияния на скорость сходимости итерационного алгоритма.

Процедура решения эквивалентной оптимизационной задачи — итеративная, двухуровневая и имеет две отличительные особенности:

— на верхнем уровне формируются координирующие переменные, обеспечивающие сходимость процедуры к оптимальному для полной системы решению;

— на нижнем уровне независимо решаются оптимизационные задачи (ОЗ) для каждой подсистемы при фиксированных координирующих переменных.

На рис. 1 представлена традиционная (последовательная) двухуровневая структура итеративного решения эквивалентной оптимизационной задачи (l — итерационный индекс).

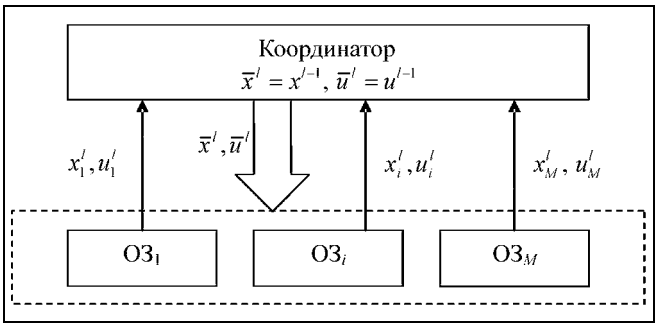


Рис. 1. Традиционная двухуровневая структура итеративного решения оптимизационной задачи

В настоящей работе предлагается для решения независимых ОЗ использовать параллельные вычисления. Пусть каждая ОЗ обрабатывается отдельным процессором. В этом случае для подсистем меньшей размерности ОЗ будут решаться быстрее, а значит, состояния $x_j(t)$ и управления $u_j(t)$ этих подсистем будут появляться раньше, чем для подсистем большей размерности. Будем использовать эту новую информацию с целью переопределения координирующих переменных для подсистем, обработка которых процессором еще не завершилась. Верхний уровень включается в процесс параллельной обработки информации таким образом, что в течение одной l-й итерации приближения решения к конечному (оптимальному) решению координирующие переменные будут верхним уровнем M раз (по числу подсистем) переопределяться и вновь передаваться на нижний уровень. Выполнение функций координатора возложено на верхний уровень параллельных вычислений — корневой процесс, а решение оптимизационных задач на нижнем уровне двухуровневой вычислительной процедуры выполняется процессами (рис. 2). Здесь $l + \delta_i$ — символ, иллюстрирующий определенность соответствующих переменных лишь до некоторого момента в течение l-й итерации, t_j — время, необходимое j-му процессору для решения оптимизационной задачи для j-й подсистемы.

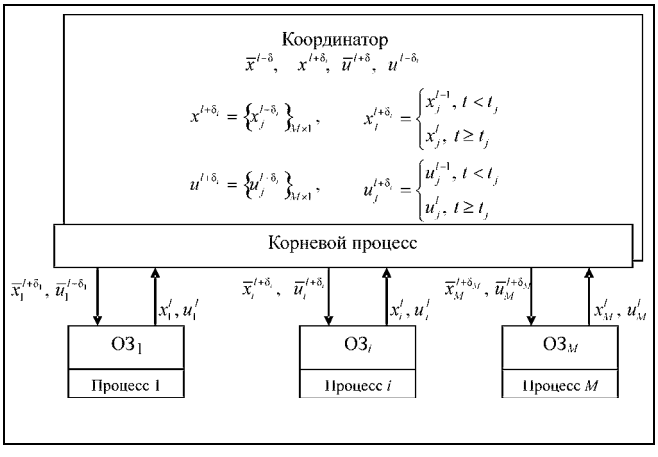


Рис. 2. Параллельная обработка информации в двухуровневой структуре решения оптимизационной задачи

3. АЛГОРИТМЫ РЕШЕНИЯ ОПТИМИЗАЦИОННОЙ ЗАДАЧИ

Сформируем двухуровневую итеративную процедуру с параллельной схемой вычисления координирующих переменных. Для этого запишем гамильтониан:

$$2H = \sum_{i=1}^{M} 2H_i = \sum_{i=1}^{M} (\|x_i(t)\|^2_{Q_{1xi}} + \|u_i(t)\|^2_{R_i} +$$

$$+ \|x_i(t) - \bar{x}_i(t)\|^2_{Q_{2xi}} + \|u_i(t) - \bar{u}_i(t)\|^2_{Q_{2ui}} + \psi_i(\bar{x}, \bar{u}, t)) +$$

$$+ \sum_{i=1}^{M} (2\lambda_i^T(t)(A_i x_i(t) + B_i u_i(t) + \varphi_i(\bar{x}, \bar{u}, t) + \mu_i(t))) +$$

$$+ \sum_{i=1}^{M} (2\alpha_i^T(t)(x_i(t) - \bar{x}_i(t)) + 2\beta_i^T(t)(u_i(t) - \bar{u}_i(t))),$$

из которого следуют условия оптимальности.

Условия оптимальности и алгоритмы нижнего уровня. Уравнения для вычисления $x_i(t)$ и $u_i(t)$ можно получить из условий:

$$\frac{\partial H_i}{\partial u_i(t)} = 0: R_i u_i(t) + B_i^T \lambda_i(t) + Q_{2ui}(u_i(t) - \bar{u}_i(t)) +$$

$$+ \beta_i(t) = 0;$$

$$\frac{\partial H_i}{\partial x_i(t)} = -\lambda_i(t): -\lambda_i(t) = Q_{1xi} x_i(t) + Q_{2xi}(x_i(t) - \bar{x}_i(t)) +$$

$$+ \alpha_i(t) + A_i^T \lambda_i(t);$$

$$\frac{\partial H_i}{\partial \lambda_i(t)} = x_i(t): x_i(t) = A_i x_i^l(t) + B_i u_i^l(t) +$$

$$+ \varphi_i(\bar{x}, \bar{u}, t) + \mu_i(t).$$

Далее, используя преобразования $\lambda_i(t) = P_i(t) x_i(t) + f_i(t)$ и учитывая, что каждой i-й подсистеме соответствует только для нее определенный вектор координирующих переменных $\bar{x}_i^{l+\delta_i}(t)$, $\bar{u}_i^{l+\delta_i}(t)$, $\alpha_i^{l+\delta_i}(t)$, $\beta_i^{l+\delta_i}(t)$, можно получить уравнения для нахождения $u_i^l(t)$, $f_i^l(t)$ и $x_i^l(t)$:

$$u_i^l(t) = -D_i^{-1} B_i^T P_i(t) x_i^l(t) - D_i^{-1}(B_i^T f_i^l(t) +$$

$$+ \beta_i^{l+\delta_i}(t) - Q_{2ui} \bar{u}_i^{l+\delta_i}(t)), \quad D_i = R_i + Q_{2ui}; \qquad (4)$$

$$f_i^l(t) = (-A_i^T + P_i(t) B_i D_i^{-1} B_i^T) f_i^l(t) +$$

$$+ Q_{2xi} \bar{x}_i^{l+\delta_i}(t) - P_i(t)(\varphi_i(\bar{x}, \bar{u}, t) + \mu_i(t)) - \alpha_i^{l+\delta_i}(t) -$$

$$- P_i(t) B_i D_i^{-1}(Q_{2ui} \bar{u}_i^{l+\delta_i}(t) - \beta_i^{l+\delta_i}(t)); \qquad (5)$$

$$f_i(t_f) = -Q_{2i}(\bar{x}_i(t_f);$$

$$\dot{x}_i^l(t) = A_i x_i^l(t) + B_i u_i^l(t) + \varphi_i(\bar{x}, \bar{u}, t) + \mu_i(t),$$

$$x_i(t_0) = x_{i0}; \qquad (6)$$

$$\dot{P}_i(t) = -A_i^T P_i(t) - P_i(t) A_i + P_i(t) B_i D_i^{-1} B_i^T P_i(t) -$$

$$- Q_{1xi} - Q_{2xi}, \quad P_i(t_f) = Q_{1i} + Q_{2i}. \qquad (7)$$

Соотношения (4)—(7) определяют алгоритмы решения на нижнем уровне оптимизационных задач для каждой из подсистем при условии, что координирующие переменные $\bar{x}_i^{l+\delta_i}(t)$, $\bar{u}_i^{l+\delta_i}(t)$, $\alpha_i^{l+\delta_i}(t)$, $\beta_i^{l+\delta_i}(t)$ фиксируются верхним уровнем.

Условия оптимальности и алгоритмы верхнего уровня. Необходимые условия оптимальности, из которых следуют алгоритмы верхнего уровня, будут следующими:

$$\frac{\partial H}{\partial \alpha(t)} = 0: \quad x(t) - \bar{x}(t) = 0;$$

$$\frac{\partial H}{\partial \bar{x}(t)} = 0: \quad \alpha(t) = -Q_{2xd}(x(t) - \bar{x}(t)) -$$

$$- (\partial\varphi(\bar{x}, \bar{u}, t)/\partial\bar{x})^T\lambda(t) + (\partial\psi(\bar{x}, \bar{u}, t)/\partial\bar{x})^T;$$

$$\frac{\partial H}{\partial \beta(t)} = 0: \quad u(t) - \bar{u}(t) = 0;$$

$$\frac{\partial H}{\partial \bar{u}(t)} = 0: \beta(t) = -Q_{2ud}(u(t) - \bar{u}(t)) -$$

$$- (\partial\varphi(\bar{x}, \bar{u}, t)/\partial\bar{u})^T\lambda(t) + (\partial\psi(\bar{x}, \bar{u}, t)/\partial\bar{u})^T.$$

Из этих условий получены следующие итеративные алгоритмы для второго, верхнего уровня:

$$z^{l+\delta_i}(t) = \begin{bmatrix} \alpha(t) \\ \bar{x}(t) \\ \beta(t) \\ \bar{u}(t) \end{bmatrix}^{l+\delta_i} = \begin{bmatrix} \hat{\alpha}(t) \\ x(t) \\ \hat{\beta}(t) \\ u(t) \end{bmatrix}^{l+\delta_i}, \qquad (8)$$

где

$$\hat{\alpha}^{i+\delta_i}(t) = (\partial\psi(\bar{x}, \bar{u}, t)/\partial\bar{x}^{l+\delta_i})^T -$$

$$- Q_{2xd}(x^{l+\delta_i}(t) - \bar{x}^{l+\delta_i}(t)) +$$

$$+ (\partial\varphi(\bar{x}, \bar{u}, t)/\partial\bar{x}^{l+\delta_i})^T\lambda^{l+\delta_i}(t),$$

$$\hat{\beta}^{i+\delta_i}(t) = (\partial\psi(\bar{x}, \bar{u}, t)/\partial\bar{u}^{l+\delta_i})^T -$$

$$- Q_{2ud}(u^{l+\delta_i}(t) - \bar{u}^{l+\delta_i}(t)) +$$

$$+ (\partial\varphi(\bar{x}, \bar{u}, t)/\partial\bar{u}^{l+\delta_i})^T\lambda^{l+\delta_i}(t).$$

Алгоритм решения оптимальных задач. В соответствии с изложенным, алгоритм синтеза оптимального управления нелинейными взаимосвязанными системами будет следующий.

Шаг 1. На нижнем уровне, для каждой из M подсистем параллельно решаются уравнения Риккати (7). Решения $P_i(t)$, $\forall i = 1, ..., M$ запоминаются, итерационный индекс $l = 1$.

Шаг 2. На верхнем уровне задается начальный вектор координирующих переменных $z^1(t)$.

Шаг 3. На нижнем уровне параллельно решаются ОЗ для всех подсистем.

Шаг 4. По мере решения j-х ОЗ с учетом новой информации о состояниях $x_j^l(t)$ и управлениях $u_j^l(t)$ подсистем вектор координирующих переменных $z^{l+\delta_i}(t)$ для i-х подсистем (для которых решение оптимизационных задач еще не завершилось) переопределяется в соответствии с выражением (8).

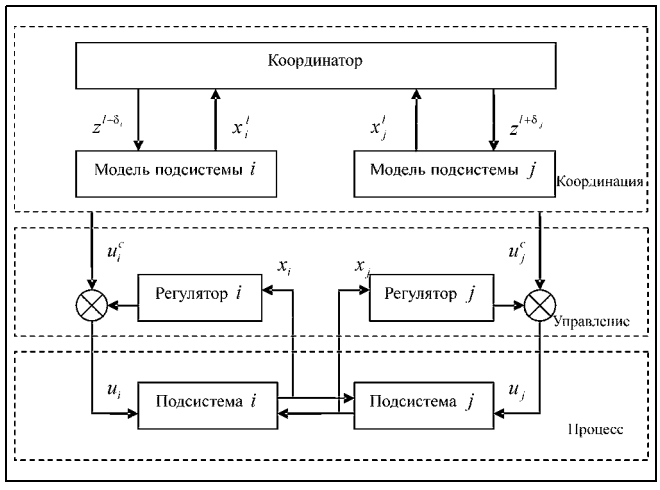


Рис 3. Структура управления

Шаги 3 и 4 выполняются в цикле и завершаются вычислением $z^{l+\delta_M}(t)$.

Шаг 5. Переопределяется вектор координирующих переменных $z^{l+1}(t) = z^{l+\delta_M}(t)$.

Шаг 6. Вычисляется ошибка координации $e^l = \|z^{l+1}(t) - z^l(t)\|$. Если $e^l \leqslant \varepsilon$ (ε достаточно малое), расчеты прекращаются, иначе — переход к шагу 3, на новый цикл поиска оптимального решения, итерационный индекс $l = l + 1$.

Сходимость итеративной процедуры аналитически доказана в работе [5].

Структура управления взаимосвязанной системы имеет замкнуто-разомкнутую форму (рис. 3):

$$u_i(t) = K_i(P_i(t))\,x_i(t) + u_i^c(t),$$

$$K_i(P_i(t)) = D_i^{-1}\,B_i^T(t)\,P_i(t),$$

$$u_i^c(t) = D_i^{-1}\,[B_i^T f_i(t) - Q_{2ui}\bar{u}_i(t)\beta_i(t)].$$

Обратные связи от состояний — линейные, с коэффициентом обратной связи $K_i(P_i(t))$, $P_i(t)$ — решения уравнений Риккати.

4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

В качестве основы реализации параллельных вычислений выбрана технология MPI (Message Passing Interface — интерфейс передачи сообщений) [6], которая на данный момент является самой развитой системой параллельного программирования и соответствует модели многопроцессорной ЭВМ с передачей сообщений. Идея MPI предполагает представление параллельной программы в виде множества параллельно исполняющихся процессов, взаимодействующих друг с другом в ходе исполнения для передачи данных с помощью коммуникационных процедур.

Программные средства для реализации параллельных вычислений при решении иерархической оптимизационной задачи разработаны в соответствии со структурной схемой алгоритма двухуровневого решения оптимизационной задачи с параллельной обработкой информации (рис. 4).

Корневой процесс формирует вектор координирующих переменных $z^{l+\delta_i}(t)$ в соответствии с выражением (8) и отправляет его на нижний уровень всем подсистемам (процессам). Каждая подсистема-процесс, получив значение вектора координирующих переменных, решает свою оптимизационную задачу ОЗ_i. В это время на верхнем уровне корневой процесс находится в состоянии ожидания информации о процессе (точнее, о его номере), который первым завершит решение оптимизационной задачи. Как только эта информация получена, корневой процесс прерывает решение незавершенных задач и переопределяет вектор координирующих переменных в соответствии с новыми значениями векторов состояния $x_i^l(t)$ и управления $u_i^l(t)$ системы, полученными от завершившегося процесса.

Новое значение вектора координирующих переменных корневой процесс отправляет процессам с незавершенным решением своих оптимизационных задач ОЗ_i, после чего их решение возобновляется. Когда таким образом отработают все M процессов (M — число подсистем согласно структуре декомпозиции), корневой процесс вычисляет ошибку координации e^l. Если $e^l \leqslant \varepsilon$, то вычисления заканчиваются. В противном случае осуществляется переход на следующую итерацию итеративной вычислительной процедуры.

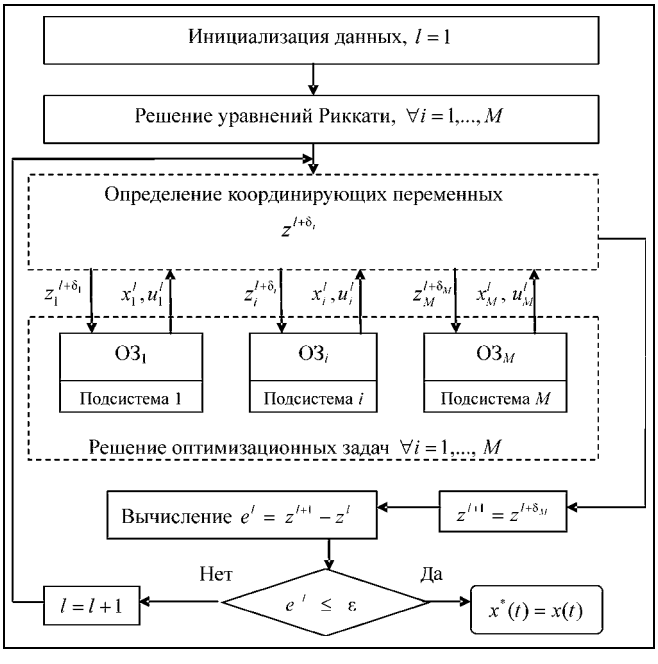


Рис. 4. Структурная схема алгоритма двухуровневого решения оптимизационной задачи с параллельной обработкой информации

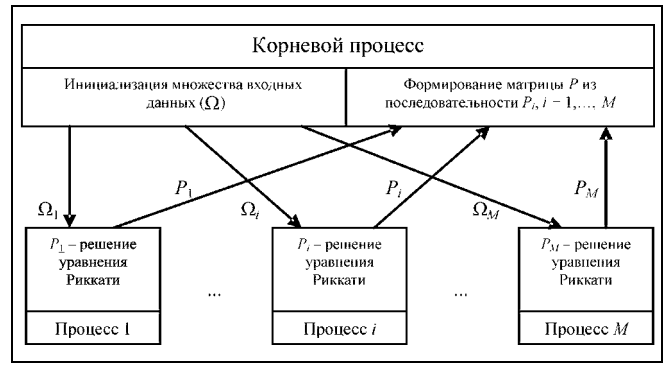


Рис. 5. Схема решения уравнений Риккати для подсистем на параллельных процессах

Решение нестационарных уравнений Риккати для всех подсистем также осуществляется параллельно, на нижнем уровне соответствующими процессами (рис. 5). Верхний уровень (корневой процесс) инициализирует размерности и параметры системы, осуществляет декомпозицию исходной системы в соответствии с заданной структурой, передает на нижний уровень i-му процессу параметры i-й подсистемы и формирует блочно-диагональную матрицу решения уравнения Риккати для исходной системы из решений уравнений Риккати для подсистем.

5. ЧИСЛЕННЫЙ ПРИМЕР

Моделирование процедуры синтеза децентрализованных систем управления с параллельной обработкой информации проводилось на примере решения оптимизационной задачи для моделей системы 7-го порядка, рассмотренной в работе [4] с различными структурами декомпозиции (табл. 1). Модель системы представлена в виде (1), при этом

$$\varphi_i(t) = \sum_{j=1}^{M} A_{ij} x_j(t) + \sum_{j=1}^{M} B_{ij} u_j(t), \quad \forall i = 1, ..., M,$$

$x_j(t)$ и $u_j(t)$ — взаимосвязи между подсистемами.

Система является взаимосвязанной, неустойчивой, но управляемой, на каждую переменную состояния действует известное возмущение $\mu(t)$, вид которого представлен на рис. 6. Необходимо найти управляющие воздейс-

Таблица 1

Структура декомпозиции

Номер структуры декомпозиции	Число подсистем	Размерности векторов состояний и управлений в подсистемах			
1	2	4	3	—	—
2		6	1		
3	3	3	3	1	
4		4	1	2	
5		5		1	
6	4	3		2	1
7		2	2		

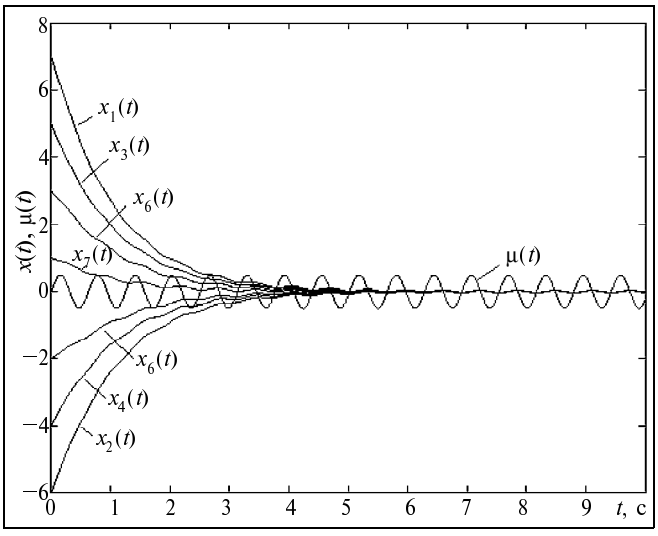


Рис. 6. Траектории переменных состояния $x_i(t)$

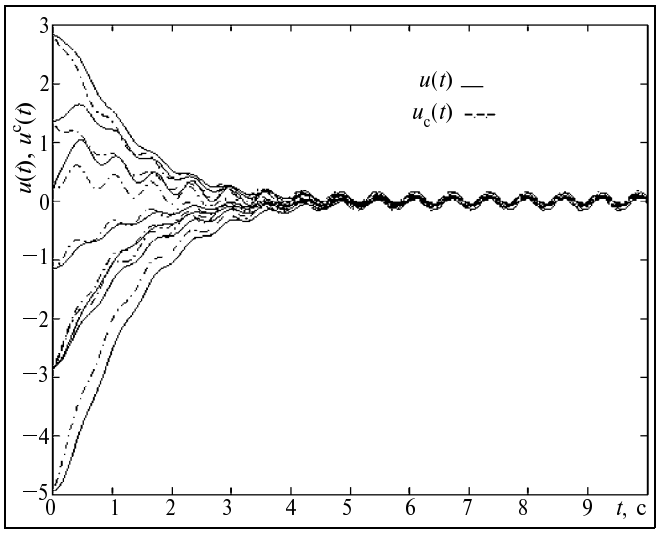


Рис. 7. Траектории управляющих воздействий $u_i(t)$

твия, которые доставят минимум критерию оптимальности вида (2), в котором

$$\psi(x,\ u,\ t) = \|x(t)\|_{Q_{1xof}} + \|u(t)\|_{R_{of}},$$

т. е. матрицы штрафов в критерии — не блочно-диагональные, а полные, Q_{1xof}, R_{1xof} — блочные наддиагональные матрицы.

На рис. 6 представлены траектории состояния системы $x(t)$, а на рис. 7 — координирующие управления $u^c(t)$ и результирующие управляющие воздействия $u(t)$. В табл. 2 приведены результаты сходимости итерационных процедур решения задачи при различных структурах декомпозиции (см. табл. 1), с использованием параллельной схемы вычислений и традиционной последовательной схемы.

Сравнение результатов показывает, что итерационная процедура синтеза законов оптимального управления взаимосвязанными системами с параллельной схемой вычисления координирующих переменных имеет лучшие по скорости сходимости показатели как по числу итераций, так и по времени решения.

Таблица 2

Результаты сходимости итерационных процедур решения оптимизационной задачи при различных структурах декомпозиции

Номер структуры декомпозиции	Последовательная схема решения		Параллельная схема решения	
	Время, с	Число итераций	Время, с	Число итераций
1	20	19	14,5	10
2			13,3	8
3			12	7
4	22		10	5
5	26	22	11,8	6
6	24	19	11,6	5
7	18	15	22,5	10

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложена иерархическая итерационная процедура, позволяющая синтезировать координированные децентрализованные алгоритмы управления нелинейными системами большой размерности, состоящими из совокупности взаимодействующих подсистем. Цель управления формализуется некоторым, в общем несепарабельным функционалом. Отличительная особенность этой процедуры состоит в том, что на нижнем уровне параллельно решаются эквивалентные оптимизационные подзадачи, при этом координирующие переменные не являются общими для всех подзадач, а переопределяются для каждой из подзадач. Полученные алгоритмы синтеза хорошо приспособлены для реализации с помощью мультипроцессорных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Сингх М., Титли А.* Системы: декомпозиция, оптимизация и управление. — М.: Машиностроение, 1986. — 543 с.
2. *Параллельные* вычисления и задачи управления (аналитический обзор) / А. Л. Бунич, К. С. Гинсберг, А. В. Добровидов и др. // Автоматика и телемеханика. — 2002. — № 12. — С. 53—70.
3. *Миркин Б. М.* Декомпозиционно-координационная оптимизация динамических систем с адаптацией критерия // Там же. — 2001. — № 7. — С. 148—157.
4. *Миркин Б. М.* Оптимизация динамических систем с децентрализованной структурой управления. — Фрунзе: Илим, 1986. — 268 с.
5. *Лыченко Н. М.* Принцип параллельной обработки информации в задачах иерархической оптимизации взаимосвязанных динамических систем // Проблемы автоматики и управления. — 1999. — № 1. — С. 23—33.
6. *Корнеев В. Д.* Параллельное программирование в MPI. — М. — Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. — 303 с.

☎ *(3312) 43-07-17; e-mail: nlychenko@mail.ru*

Статья представлена к публикации членом редколлегии В. Ю. Рутковским. ❑

УДК 62-501.52

ОБ УСЛОВИЯХ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ХАРАКТЕР УСТОЙЧИВОСТИ НЕКОТОРЫХ КЛАССОВ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ

В. П. Жуков

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва

Показано, что при анализе на устойчивость некоторых классов нелинейных динамических систем произвольного порядка функции Ляпунова могут быть построены непосредственно по правой части уравнения исследуемой системы. Отмечено, что этот факт может быть использован не только при анализе динамических систем, но и при их синтезе, придавая им определенное положительное качество. Сформулированы и рассмотрены соответствующие условия, определяющие характер устойчивости изолированных состояний равновесия автономных нелинейных динамических систем произвольного порядка и имеющие ясную геометрическую трактовку. Приведены достаточные и необходимые и достаточные условия асимптотической устойчивости и достаточные условия устойчивости и неустойчивости.

ВВЕДЕНИЕ

Будем рассматривать автономные нелинейные динамические системы произвольного порядка

$$\dot{\mathbf{x}} = \mathbf{f}(\mathbf{x}), \quad \mathbf{x} \in R^n, \tag{1}$$

где векторная функция $\mathbf{f}(\mathbf{x})$ задана в некоторой области $G \subseteq R^n$. Пусть компоненты $f_i(x)$, $i = 1, \ldots, n$, функции $\mathbf{f}(\mathbf{x})$ обладают непрерывными ограниченными частными производными по аргументам $x_1, \ldots, x_n$ ($\mathbf{f}(\mathbf{x}) \in C^1(R^n, R^n)$), а точка $(\mathbf{x} = 0) \in G$ является изолированной точкой равновесия системы (1).

В настоящей работе приводятся некоторые новые условия для качественного исследования характера устойчивости точки равновесия этой системы. При качественном исследовании свойств динамических систем (1) тем или иным образом используется информация об их известных правых частях $\mathbf{f}(\mathbf{x})$. При исследовании вопроса устойчивости этих систем с помощью второго метода Ляпунова эта информация используется при определении знака производной от функции Ляпунова в силу исследуемой системы [1]. При применении первого метода Ляпунова такая информация нужна для определения характера устойчивости линеаризованной системы [1]. При применении метода источников [2, 3] информация о функции $\mathbf{f}(\mathbf{x})$ нужна для определения знака дивергенции $\mathrm{div}\mathbf{f}(\mathbf{x})$. В данной работе для получения на основе второго метода Ляпунова условий, определяющих характер устойчивости систем (1), функция $\mathbf{f}(\mathbf{x})$ используется не только для определения знака производной в силу системы (1) от функции Ляпунова, но и для выбора самой этой функции (конкретно для такого выбора используется модуль $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|$). Это позволяет исследовать характер устойчивости некоторого класса нелинейных систем (1), используя в качестве функции Ляпунова либо непосредственно известную определенно-положительную функцию $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$, либо определенно-положительную функцию $|\mu(\mathbf{x})\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2 = \mu^2(\mathbf{x})|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$, где $\mu^2(\mathbf{x})$ — подлежащая нахождению положительная или определенно-положительная корректирующая скалярная функция, которая может не быть функцией Ляпунова. Функция $|\mu(\mathbf{x})\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$ используется в том случае, если функция $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$ не является функцией Ляпунова, т. е. если производная $d|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2/dt$ в силу исследуемой системы (1) не удовлетворяет какой-либо из теорем Ляпунова; функция $\mu^2(\mathbf{x})$ определяется в этом случае из условия, чтобы функция $|\mu(\mathbf{x})\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2 = \mu^2(\mathbf{x})|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$ стала функцией Ляпунова.

Соответствующие результаты исследования (утверждения 1, 2 и теоремы 1—3), дающие как достаточные, так и необходимые и достаточные условия асимптотической устойчивости, а также достаточные условия устойчивости и неустойчивости изолированной точки равновесия $\mathbf{x} = 0$ системы (1), приведены в § 1. Здесь же отметим, что в случае изолированности точки равновесия $\mathbf{x} = 0$ любая функция $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|$, а следовательно и функция $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$, является в любой окрестности ε этой точки, не содержащей других точек равновесия, определенно-положительной функцией и в этом отношении пригодна на роль функции Ляпунова; конечно, при этом производные $d|\mathbf{f}(\mathbf{x})|/dt$, $d|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2/dt$ в силу системы (1) могут как удовлетворять требованиям теорем Ляпунова, так и не удовлетворять. То, что существуют непустые классы систем (1), у которых эти производные удовлетворяют указанным требованиям, показано в § 2; там же приводятся результаты, с помощью которых можно исследовать характер устойчивости систем (1), не входящих в указанные классы.

1. ОБ УСЛОВИЯХ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ХАРАКТЕР УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМ (1)

Как отмечалось, функция $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$ является в некоторой окрестности ε изолированной точки равновесия $\mathbf{x} = 0$ определенно-положительной функцией, удовлетворяя в этом отношении требованиям теорем Ляпунова. Если к тому же производная $d|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2/dt$ в силу системы (1) будет в некоторой окрестности $\varepsilon_1 \subseteq \varepsilon$ точки равновесия $\mathbf{x} = 0$ неположительной ($\leqslant 0$, включая $\equiv 0$), то эта точка согласно первой теореме Ляпунова [1] будет устойчивой; если же эта производная в окрестности ε_1 будет определенно-отрицательной, то точка $\mathbf{x} = 0$ будет асимптотически устойчивой. В случае, когда указанная производная окажется в окрестности ε_1 определенно-положительной, то точка $\mathbf{x} = 0$ будет на основе второй теоремы Ляпунова [1] неустойчивой. Следовательно, можно сформулировать следующие условия устойчивости, асимптотической устойчивости и неустойчивости.

Утверждение 1. *Если производная $d|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2/dt$ в силу системы* (1) *не положительна* ($\leqslant 0$, *включая* $\equiv 0$) *в некоторой окрестности ε_1 изолированной точки равновесия $\mathbf{x} = 0$, то эта точка устойчива; если при этом эта производная определенно-отрицательна в ε_1, то указанная точка $\mathbf{x} = 0$ асимптотически устойчива.*

Утверждение 2. *Если производная $d|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2/dt$ в силу системы* (1) *определенно-положительна в некоторой окрестности ε_1 изолированной точки равновесия $\mathbf{x} = 0$, то эта точка неустойчива.*

Приведенные утверждения сформулированы в терминах функции $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$, хотя могли бы быть сформулированы в терминах функции $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|$. Это связано с тем, что вычисление производной $d|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2/dt$ проще, чем вычисление производной $d|\mathbf{f}(\mathbf{x})|/dt$, ибо

$$|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2 = \sum_{i=1}^{n} f_i^2(\mathbf{x}), \quad \text{а } |\mathbf{f}(\mathbf{x})| = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} f_i^2(\mathbf{x})}.$$

Условия утверждений 1 и 2 имеют простую и наглядную геометрическую трактовку, определяющую в некоторой окрестности точки $\mathbf{x} = 0$ характер изменения модуля фазовой скорости $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|$ во времени (а, следовательно, и вдоль траекторий, ибо $d|\mathbf{f}(\mathbf{x})|/dt = |\mathbf{f}(\mathbf{x})|\,d|\mathbf{f}(\mathbf{x})|/ds$, где $ds = |\mathbf{f}(\mathbf{x})|/dt$ — дифференциал расстояния вдоль траектории). Так, например, условие утверждения 1 относительно устойчивости геометрически можно трактовать как условие монотонного изменения $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|$ вдоль любой траектории ($|\mathbf{f}(\mathbf{x})|$ монотонно уменьшается или остается постоянным вдоль любой траектории); условие утверждения 1 относительно асимптотической устойчивости геометрически означает строго монотонное уменьшение $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|$ вдоль любой траектории при движении изображающей точки к точке равновесия $\mathbf{x} = 0$. Условие утверждения 2 геометрически означает строго монотонное увеличение $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|$ вдоль любой траектории при движении изображающей точки от точки равновесия $\mathbf{x} = 0$.

При применении утверждения 1 для синтеза асимптотически устойчивой системы автоматического управления параметры регулятора определяются из условия, чтобы правая часть $\mathbf{f}(\mathbf{x})$ системы управления имела определенно-отрицательную производную $d|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2/dt$ в силу этой системы. При этом система управления будет характеризоваться строго монотонным уменьшением функции $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|$ вдоль любой траектории.

На примерах можно показать, что классы систем (1), удовлетворяющих условиям утверждений 1 и 2, не пусты. Приведем сначала пример асимптотически устойчивой системы, для которой функция $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$ является функцией Ляпунова, т. е. удовлетворяет утверждению 1 относительно асимптотической устойчивости (производная $d|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2/dt$ является определенно-отрицательной). Для этого рассмотрим систему

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -x_1^3(1 + x_2^2) \\ \dot{x}_2 = -x_2^3(1 + x_1^2), \end{cases} \tag{2}$$

имеющую единственную точку равновесия $\mathbf{x} = 0$. Для этой системы функция $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2 = x_1^6(1 + x_2^2)^2 + x_2^6(1 + x_1^2)^2$ является определенно-положительной во всем пространстве R^2, а функция

$$d|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2/dt = (\operatorname{grad}|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2, \mathbf{f}(\mathbf{x})) = \sum_{i=1}^{2} \frac{\partial|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2}{\partial x_i} f_i(\mathbf{x}) =$$

$$= -[10x_1^8x_2^6 + 18x_1^8x_2^4 + 18x_1^8x_2^2 + 8x_1^6x_2^6 + 10x_1^6x_2^8 + 22x_1^4x_2^8 + 18x_1^2x_2^8 + 4x_1^4x_2^6 + 4x_1^8x_2^4 + 4x_1^6x_2^4 + 6(x_1^8 + x_2^8)]$$

является определенно-отрицательной в пространстве R^2, ибо в R^2 определенно-отрицательна часть этой функции $-6(x_1^8 + x_2^8)$, а остальные ее члены не положительны и равны нулю в точке $\mathbf{x} = 0$. Поэтому согласно утверждению 1 точка равновесия $\mathbf{x} = 0$ системы (2) асимптотически устойчива; областью притяжения точки $\mathbf{x} = 0$, очевидно, является все пространство R^2. Следовательно, класс асимптотически устойчивых систем (1) второго порядка, удовлетворяющих условиям утверждения 1, не пуст.

Очевидно, что система

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_1^3(1 + x_2^2) \\ \dot{x}_2 = x_2^3(1 + x_1^2) \end{cases}, \tag{3}$$

получающаяся из системы (2) изменением знаков ее правых частей, имеет неустойчивую точку равновесия $\mathbf{x} = 0$, причем функция $d|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2/dt$ удовлетворяет условиям утверждения 2, так как является определенно-положительной (она отличается только знаком от функции $d|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2/dt$, полученной в предыдущем примере для системы (2), ибо функции $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$ и, следовательно, функции $\operatorname{grad}|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$ для систем (2) и (3) одинаковы, а знаки правых частей этих систем противоположны). Таким образом, класс неустойчивых систем (1) второго порядка, удовлетворяющих условиям утверждения 2, не пуст.

Система $\dot{x}_1 = x_2$, $\dot{x}_2 = -x_1$ имеет единственную точку равновесия $\mathbf{x} = 0$ и ей соответствует определенно-поло-

жительная функция $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2 = x_1^2 + x_2^2$, удовлетворяющая условиям утверждения 1 относительно устойчивости. Действительно,

$$d|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2/dt = (\text{grad}\,|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2,\ \mathbf{f}(\mathbf{x})) = 2x_1x_2 - 2x_2x_1 \equiv 0,$$

что согласно утверждению 1 означает неасимптотическую устойчивость точки $\mathbf{x} = 0$. Следовательно, класс неасимптотически устойчивых систем (1) второго порядка, удовлетворяющих условиям утверждения 1, не пуст.

Ясно, что аналогичные примеры существуют как среди других систем (1) второго порядка, так и среди систем (1) любого иного порядка. Поэтому можно сделать вывод, что классы асимптотически устойчивых, неустойчивых и неасимптотически устойчивых систем (1), удовлетворяющих соответствующим условиям утверждений 1 и 2, не являются пустыми; т. е. существуют классы систем (1), характер устойчивости которых можно определять, используя в качестве функций Ляпунова известную функцию $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$.

Из примеров также видно, что не пуст и класс систем (1), для которых функция $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$ не является функцией Ляпунова (т. е. функция $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|$ изменяется немонотонно вдоль траекторий системы (1)) и характер устойчивости которых не может быть определен с помощью утверждений 1 и 2. Некоторые множества систем из этого класса можно исследовать на устойчивость, используя следующие результаты.

Пусть $\mu(\mathbf{x})$ — скалярная функция, определенная в некоторой окрестности ε изолированной точки равновесия $\mathbf{x} = 0$ системы (1), кроме, может быть, этой точки, и обеспечивающая определенную положительность и непрерывную дифференцируемость (класса C^1) для функции $|\mu(\mathbf{x})\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2 = \mu^2(\mathbf{x})|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$. Если функция $\mu(\mathbf{x})$ определена во всех точках окрестности ε, то функция $\mu^2(\mathbf{x})$ может быть как положительной (в этом случае функция $\mu(\mathbf{x})$ может быть либо положительной, либо отрицательной), так и определенно-положительной (в этом случае функция $\mu(\mathbf{x})$ может быть либо определенно-положительной, либо определенно-отрицательной); если же функция $\mu(\mathbf{x})$ определена на множестве $\varepsilon\backslash\{\mathbf{x} = 0\}$, то на этом множестве функция $\mu^2(\mathbf{x})$, очевидно, может быть только положительной (функция $\mu(\mathbf{x})$ в этом случае может быть либо положительной, либо отрицательной). Только при таких условиях на функции $\mu(\mathbf{x})$ и $\mu^2(\mathbf{x})$ функция $|\mu(\mathbf{x})\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$ может быть определенно-положительной (например, при знакопеременной функции $\mu(\mathbf{x})$ функция $|\mu(\mathbf{x})\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$ не является определенно-положительной). Пусть в окрестности ε нет точек равновесия, отличных от точки $\mathbf{x} = 0$, и поэтому функция $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$ является в этой окрестности определенно-положительной.

Теорема 1. *Если существует такая функция* $\mu(\mathbf{x})$, *что производная в силу системы* (1) *от функции* $|\mu(\mathbf{x})\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$ *неположительна* ($\leqslant 0$, *включая* $\equiv 0$) *в некоторой окрестности* $\varepsilon_1 \subseteq \varepsilon$ *изолированной точки равновесия* $\mathbf{x} = 0$, *то эта точка устойчива.*

Теорема 2. *Изолированная точка равновесия* $\mathbf{x} = 0$ *системы* (1) *асимптотически устойчива тогда и только тогда, если существует такая функция* $\mu(\mathbf{x})$, *что производная в силу системы* (1) *от функции* $|\mu(\mathbf{x})\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$ *определенно-отрицательна в некоторой окрестности* $\varepsilon_1 \subseteq \varepsilon$ *точки* $\mathbf{x} = 0$.

Теорема 3. *Если существует такая функция* $\mu(\mathbf{x})$, *что производная в силу системы* (1) *от функции* $|\mu(\mathbf{x})\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$ *определенно-положительна в некоторой окрестности* $\varepsilon_1 \subseteq \varepsilon$ *изолированной точки равновесия* $\mathbf{x} = 0$, *то эта точка неустойчива.*

Доказательства теорем 1—3 приведены в Приложении. Теорема 2 дает достаточное и необходимое условие асимптотической устойчивости. Теоремы 1 и 3 дают достаточные условия соответственно устойчивости и неустойчивости.

Назначение функции $\mu(\mathbf{x})$ в теоремах 1—3 состоит в том, чтобы превратить функцию $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$, если она не пригодна на роль функции Ляпунова для системы (1), в функцию $|\mu(\mathbf{x})\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2 = \mu^2(\mathbf{x})|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$, пригодную на эту роль. С помощью функции $\mu(\mathbf{x})$ осуществляется переход от немонотонно изменяющейся вдоль траекторий системы (1) функции $|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$ к монотонно изменяющейся вдоль этих траекторий функции $|\mu(\mathbf{x})\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$. Очевидно, что по своему смыслу функция $\mu(\mathbf{x})$ не является функцией Ляпунова.

ПРИЛОЖЕНИЕ

К доказательству теорем 1—3.

Достаточность условий этих теорем. В соответствии с условиями теорем 1—3 существует такая функция $\mu(\mathbf{x})$, что производная в силу системы (1) от определенно-положительной функции $|\mu(\mathbf{x})\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$ является соответственно неположительной ($\leqslant 0$, включая $\equiv 0$), определенно-отрицательной, определенно- положительной. Поэтому, если удовлетворяются условия теорем 1—3, то удовлетворяются соответственно и условия теорем Ляпунова об устойчивости, асимптотической устойчивости, неустойчивости. Следовательно, точка равновесия $\mathbf{x} = 0$ системы (1) будет устойчивой при условиях теоремы 1, асимптотически устойчивой при условии теоремы 2 и неустойчивой при условии теоремы 3.

Необходимость условия теоремы 2. Нужно показать, что если изолированная точка равновесия системы (1) асимптотически устойчива, то существует такая функция $\mu(\mathbf{x})$, что производная в силу системы (1) от функции $|\mu(\mathbf{x})\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2$ является определенно-отрицательной. Так как система (1) автономна, то в случае ее асимптотической устойчивости существует [4] зависящая только от $\mathbf{x}$ знакоопределенная функция Ляпунова $V(\mathbf{x})$, удовлетворяющая условию теоремы Ляпунова об асимптотической устойчивости автономных систем (производная V в силу системы (1) знакоопределенна, знака, противоположного знаку $V(\mathbf{x})$). Тогда будет существовать функция $\mu(\mathbf{x})$, удовлетворяющая условию $|\mu(\mathbf{x})\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2 = \mu^2(\mathbf{x})|\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2 = V(\mathbf{x})$, где $V(\mathbf{x})$ — определенно-положительная функция Ляпунова, существующая для асимптотически устойчивой системы (1) (если функция $V(\mathbf{x})$ — определенно-отрицательна, то необходимо воспользоваться условием $|\mu(\mathbf{x})\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2 = -V(\mathbf{x})$). Очевидно, что при так выбранной функции $\mu(\mathbf{x})$ производная в силу системы (1) от функции $|\mu(\mathbf{x})\mathbf{f}(\mathbf{x})|^2 = V(\mathbf{x})$ будет определенно-отрицательной, что и требовалось в условиях теоремы 2.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Ляпунов А. М.* Общая задача об устойчивости движения. — М.: Л.: ОНТИ, 1935.
2. *Жуков В. П.* Полевые методы в исследованиях нелинейных динамических систем. — М.: Наука, 1992.
3. *Жуков В. П.* Дивергентные условия асимптотической устойчивости нелинейных динамических систем второго порядка // Автоматика и телемеханика. — 1999. — № 7. — С. 34—43.
4. *Малкин И. Г.* Теория устойчивости движения. — М.: Наука, 1966. — С. 310.

(495) 334-92-29

Статья представлена к публикации членом редколлегии Б. В. Павловым. ❑

УДК 004.83;005;303.732;519.7;519.81

О ПРОБЛЕМЕ РИСКОВ ИЗ-ЗА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА В ЭКСПЕРТНЫХ МЕТОДАХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ

Н. А. Абрамова

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова, г. Москва

Проблема рисков из-за человеческого фактора при решении практических задач управления посредством экспертных методов и информационных технологий рассмотрена как комплексная проблема, охватывающая весь жизненный цикл таких методов и технологий. Представлены некоторые модели психологического влияния «окружающего интеллекта» на качество решения управленческих задач, учитывающие риски. Предложены некоторые принципы и подходы, направленные на ограничение роли выделенных типов рисков.

Светлой памяти
Ивери Варламовича Прангишвили
посвящается

ВВЕДЕНИЕ

Предметом исследования в настоящей статье являются экспертные методы, основанные на формализации знаний экспертов и их последующей формальной обработке, а также информационные технологии, в которых воплощены такие методы и которые применяются для поддержки интеллектуальной деятельности человека по решению практических задач. По выделенному основному признаку — формализации знаний экспертов (а также других специалистов) — к экспертным методам и соответствующим технологиям могут быть отнесены разнообразные методы и технологии, в названиях которых обычно используются другие признаки. Например, говорят об интеллектуальных технологиях и системах, когнитивных технологиях, системах поддержки принятия решений, экспертно-статистических методах и т. д. С точки зрения исследуемой проблемы, можно объединить такого рода методы под названием *«субъектно-формальные методы»*. Однако из-за отсутствия общепринятого объединительного названия будем, в основном, пользоваться термином «экспертные методы».

Исходя из проблемы рисков, обусловленных человеческим фактором, целесообразно рассматривать некоторый формальный метод как субъектно-формальный, если для его применения необходимо участие человека. Тем самым, от человека могут существенно зависеть результаты и их качество, а значит, — и качество решения практических задач на основе данного метода. Тогда имеет смысл обобщенно говорить о человеческом факторе или, при более детальном рассмотрении, о различных человеческих факторах, которые могут влиять на те или иные показатели качества. К значимым показателям во многих приложениях относится *достоверность результатов* применения метода, интуитивно понимаемая как возможность полагаться на эти результаты при решении конкретной практической задачи[1]. Можно говорить и о *достоверности метода* как о его возможности давать достоверные результаты. *Риск* здесь означает возможность получения недостоверных результатов.

Проблема влияния человеческих факторов на качество методов и технологий, создаваемых человеком, не нова. Достаточно сказать, что первая волна интереса к учету человеческого фактора в науке управления появилась в конце 1960-х—начале 1970-х гг. Эти исследования

[1] При этом общее понятие достоверности, согласно его словарному толкованию [1], имеет два аспекта: объективную достоверность знания и субъективную уверенность, которые мы различаем и учитываем при анализе достоверности результатов применения экспертных методов. Субъективная уверенность зависит от психологических факторов.

находились в согласии с научным направлением под названием «человеческий фактор», или «эргономика», активно развивавшимся в то время в США. Одна из основных идей этого направления состоит в том, что недостаточный учет свойств человека (человеческих факторов) при построении тех или иных систем, включающих в себя человека, в основном, в роли оператора может привести к неудовлетворительному решению поставленных задач: снижению надежности, уровня безопасности, достоверности и т. п. Еще одна важная для практики идея заключается в том, что поиск решений проблемы рисков, обусловленных человеческим фактором, должен охватывать не только сами системы, но и процесс их проектирования.

Академик И. В. Прангишвили, директор Института проблем управления РАН с 1987 г. по 2006 г., в последние годы жизни обратил внимание на проблематику человеческого фактора в управлении (в рамках науки управления), и это было неслучайным. Будучи организатором научных исследований в области проблем управления, он многократно обращался к вопросу о возможностях фундаментальной, по современным научным нормам, науки решать проблемы, фундаментальные или, по крайней мере, крупные, с общечеловеческой точки зрения. Относясь с глубоким уважением к математической теории управления, он вместе с тем неоднократно говорил о том, что математика не может решать многих практических проблем управления, которые далеки от готовых математических схем.

Определяя цели сборника статей «Человеческий фактор в управлении», который был выпущен в последний год жизни И. В. Прангишвили, он ставил ряд вопросов. «Насколько эффективную помощь может оказать наука в решении практических задач управления в условиях, когда существенную роль в осмыслении и решении проблем, особенно крупномасштабных и слабоструктурированных, неизбежно решает человек? Насколько значим человеческий фактор в решении практических задач управления с использованием научных знаний? Насколько наука управления может быть полезной в решении «человеческой составляющей» задачи, какими средствами она для этого располагает?» [2].

И. В. Прангишвили был убежден, что фундаментальная наука должна давать решения проблем, значимых для людей, независимо от теоретического аппарата, которым она для этого воспользуется, и степени его формальности. Он склонялся к мысли об интеграции формальных математических методов со знаниями наук о человеке там, где это поможет решать конкретные проблемы управления.

И идеи И. В. Прангишвили об углублении связи формальной науки с решением практических задач, и эргономическая идея охвата этапа проектирования систем при решении проблемы рисков из-за человеческого фактора приводят к необходимости комплексного подхода. Этот подход состоит в том, чтобы рассматривать проблему рисков из-за человеческого фактора при решении практических задач управления посредством формальных методов и информационных технологий как комплексную проблему, которая охватывает весь жизненный цикл таких методов и технологий. При этом должны учитываться человеческие факторы, действующие во всем этом цикле, включая выбор или создание и обоснование метода и (или) технологии, а затем — практическое применение для решения конкретных задач, вплоть до завершения «миссии», ради которой применялся рассматриваемый метод. Такой подход приводит к уточнению понятия человеческих факторов в управлении [2].

Человеческие факторы в управлении (в рамках науки управления) — это факторы, которые связаны с различными ролями человека при решении практических задач управления (или задач, относящихся к управлению) и должны учитываться учеными при разработке средств решения таких задач (моделей, методов, математического аппарата, методологий, компьютерных средств и технологий). Более точно, речь идет о факторах, которые:

- обусловлены различными ролями человека в жизненном цикле порождения и практического применения разрабатываемых методов и средств решения задач управления,
- влияют на практическую значимость и адекватность практического применения теоретических результатов.

В частности, *такое понимание человеческих факторов заставляет рассматривать как источники риска для качества решений (адекватности, надежности, безопасности, достоверности и т. п.) не только экспертов, которые включены в процесс применения тех или иных методов, но и ученых, которые создают и обосновывают формальные методы и теоретические модели экспертов, включаемых в процесс применения методов.*

Факт влияния создателей формальных методов на адекватность результатов применительно к таким областям, как экономические теории и теории принятия решений, привлек внимание психологов и породил дискуссии по поводу конфликта между представлениями теоретиков в этих областях о том, как должны думать люди, и знаниями психологов о том, как люди действительно думают[2]. Попытки объединить усилия специалистов по нормативным методам и дескриптивным знаниям о человеке в области принятия решений предпринимались во второй половине 1980-х гг. Видную роль в них играли работы А. Тверского и Д. Канемана, лауреата премии памяти А. Нобеля.

Новое обращение к идеям интеграции психологических и математических подходов в области принятия решений со стороны О. И. Ларичева и его школы на основе выдвинутого принципа *психологической корректности методов* сделало упор на *надежность знаний, получаемых от человека* в ходе применения того или иного метода [4, 5]. Суть принципа состоит в том, чтобы для обеспечения надежности этих знаний закладывать в основу экспертных методов только такие допущения о человеке и его возможностях, обоснования которых опираются на психологические данные и учитывают воз-

[2] Конфликт представлений актуален и сегодня. Например, в теориях управления социально-экономическими системами общепринят принцип рациональности, тогда как в психологии принцип ограниченной рациональности, выдвинутый еще Г. Саймоном, разрабатывается и сегодня [3].

можности и ограничения «человеческой системы переработки информации».

В прикладной деятельности по оценке качества и верификации программного обеспечения, связанного с безопасностью, автору пришлось столкнуться со спектром *практически значимых факторов риска для достоверности* результатов применения известных, рекомендуемых стандартами экспертных методов оценки [6]. Дальнейший теоретический анализ и сравнение с практической деятельностью экспертов приводят к выводу, что *многие источники рисков для качества результатов, ведущие к психологической некорректности* этих методов[3], *являются общими для самых разных экспертных методов и технологий,* которые сегодня активно разрабатываются в разных теоретических направлениях и используются на практике. В целом спектр возникающих проблем лежит в области человеческих факторов, причем удовлетворительное объяснение ряда типичных ситуаций оказывается возможным лишь при совокупном учете влияний, исходящих и от пользователей, и от создателей методов. По мнению автора, наиболее «тяжелыми» факторами риска оказываются научные нормы и парадигмы, обеспечивающие уверенность ученых в своих немотивированных представлениях.

С учетом сложности реализации принципа психологической корректности и ограниченности современных психологических знаний выдвинут и проверен в эксперименте альтернативный принцип (концепция) *эмпирического обоснования выбора средств формализации* с учетом адекватности их влияния на качество решения практических задач [7]. Он означает, что оценочные утверждения теоретиков об адекватности тех или иных видов формализации для решения практических задач должны рассматриваться как гипотезы. В роли их более или менее сильных эмпирических обоснований могут выступать конкретный опыт, эксперименты, отдельные примеры успешно решенных задач.

Однако понятно, что оба принципа, направленные на повышение обоснованности современных экспертных методов и, в конечном счете, на повышение достоверности результатов, едва ли могут привести к быстрому и ощутимому влиянию на качество методов из-за несоответствия действующим научным нормам. В силу этого можно прийти к выводу, что *сегодня основная проблема человеческих факторов при создании и применении экспертных методов* и соответствующих информационных технологий проявляется в том, что такие методы и технологии *не обеспечивают достоверности получаемых решений* (в определенном выше смысле). Поэтому при ориентации экспертных методов и соответствующих технологий на качество получаемых знаний и принимаемых решений на первый план выходят *проблемы выявления рисков и их блокирования в конкретных технологиях и при решении конкретных практических задач* подобно тому, как это делается при отладке программ, создаваемых ненадежными методами.

Поиск теоретических средств для объяснения механизмов действия типичных факторов риска, известных уже сегодня, и идентификации рисков в конкретных технологиях привел к необходимости рассматривать интеллектуальную деятельность экспертов и ее психологические аспекты в контексте взаимодействия с «окружающим интеллектом»: разработчиками и носителями методов и технологий, их теоретиками [8]. В качестве таких средств предлагаются некоторые модели для описания и исследования психологического влияния «окружающего интеллекта» на качество решения управленческих задач при помощи экспертных методов и технологий, представленные в § 1.

В § 2 описаны некоторые принципы и подходы к защите от рисков из-за человеческих факторов, в основе которых лежит общий принцип защиты от рисков в процессе применения данного метода и его результатов для решения конкретной практической задачи, начиная с ранних этапов.

1. ДВА РОДА ФАКТОРОВ РИСКА. НЕКОТОРЫЕ МОДЕЛИ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ВЛИЯНИЯ «ОКРУЖАЮЩЕГО ИНТЕЛЛЕКТА»

В жизненном цикле экспертных методов и технологий можно выделить два рода факторов[4] риска.

Факторы риска, психологически влияющие на достоверность экспертных методов в ходе их применения экспертами, относятся к факторам *первого рода*, или факторам прямого действия. Их действие обычно связано с экспертами (или аналитиками, лицами, принимающими решения — ЛПР и другими специалистами), чьи знания формализуются для последующего применения формальных методов; именно эти люди оказываются в условиях, которые могут, в конечном счете, привести к порождению недостаточно достоверных (в объективном отношении) результатов. Такие факторы могут либо объективно способствовать недостоверности, либо повышать субъективную уверенность экспертов в достоверности результатов применения методов, начиная с их собственных формализованных знаний.

Факторы риска *второго рода*, или факторы косвенного действия, закладываются и начинают действовать уже в ходе создания и обоснования экспертных методов. Влияние этих факторов связывается с создателями методов и технологий, учеными и экспертами-стандартизаторами, которые, в свою очередь, подвержены влияниям научных норм, традиций научных школ, парадигм, различных мифов и т. д., а также «носителями технологий», нередко выступающими в качества посредников между создателями методов, с одной стороны, и экспертами и другими специалистами — пользователями результатов, с другой.

Типичными примерами факторов риска первого рода являются естественные механизмы мышления, создающие риск ошибок. Ряд характерных типов таких ошибок,

[3] Исходное понятие психологически корректных методов [5] расширено в работе [6] так, чтобы учитывать возможность неадекватных, с позиции пользователей, результатов в силу неадекватных моделей знаний и деятельности экспертов, на которые опираются методы.

[4] Согласно словарному определению, фактор (от лат. factor — действующий, производящий) — это «причина, движущая сила какого-либо процесса, явления, определяющая его характер или отдельные его черты» [1].

которым подвержены не только дилетанты, но и эксперты при работе со сложными ситуациями, представлен в книге известного немецкого психолога мышления Д. Дернера[5] [9]. Типичные факторы риска второго рода — это психологически некорректные модели знаний экспертов, создающие риск ненадежных (неустойчивых и противоречивых) данных от экспертов[6], а также — необоснованные модели знаний экспертов[7].

Для уточнения механизмов действия рассматриваемых факторов риска и их взаимодействия между собой представляется уместным обратиться к понятию «окружающего интеллекта» (англ. ambient intelligence, сокращенно AmI), которое сегодня становится все более популярным. Его смысл состоит в том, что современный человек окружен многочисленными продуктами интеллектуального труда, такими как компьютеры, мобильные телефоны, компьютерные технологии и др., которые нередко претендуют на выполнение «интеллектуальных» функций; это окружение оказывает влияние на деятельность человека, в том числе, интеллектуальную, которое на сегодня не вполне осознано, но достаточно значительно и многообразно, чтобы стать предметом научного исследования[8]. Специфика многих компьютерных технологий и систем (называются ли они интеллектуальными, информационными, когнитивными или как-то иначе) состоит в том, что здесь окружающий интеллект напрямую предназначен для влияния на интеллектуальную деятельность человека.

Попытки представить прямое или косвенное взаимодействие интеллектов и связанных с ними факторов, порождающих риски для конечных результатов деятельности, с позиций управления привели к модели когнитивного управления [7]. Ключевым элементом этой модели является формализация знаний одних людей в соответствии с представлениями (обычно) других людей о том, какой она должна быть.

Модель когнитивного управления (МКУ). Понятие «*когнитивное управление*» введено для обозначения управления, которое воздействует на когнитивные (познавательные) средства конкретного человека, осмысливающего и структурирующего ситуацию [7]. Прежде всего, к этим средствам относятся его общие понятия и схемы представления знаний, посредством которых происходит формализация его внутренних представлений об интересующей его ситуации.

Внутреннее представление о рассматриваемой ситуации рассматривается как *когнитивная модель* этой *ситуации*. Это — модель по отношению к ситуации[9], как и любое отражение мира в сознании человека, и эта модель является когнитивной, поскольку она сформирована посредством когнитивных средств человека[10].

Управление может происходить явным или неявным «навязыванием» человеку определенных когнитивных средств (понятий и теоретических моделей в качестве схем представления знаний) с применением тех или иных психологических механизмов, будь то привлечение внимания к известным средствам, обучение новым средствам, формирование установок, намерений, мотиваций или просто необходимость подчиниться формам представления знаний в той или иной технологии. Механизмы, толкающие человека к использованию определенных средств, как и субъекты управления, в *базовой модели когнитивного управления* (рис. 1), не учитываются. В качестве единственного «входа» в этой модели выступают навязываемые управляемому субъекту когнитивные средства формализации (на рис. 1 управляемый субъект обозначен условным понятием «эксперт-аналитик»).

Если исключить из рассмотрения управляемого субъекта, эта модель аналогична классической схеме управления состоянием, принятой в дискретном управлении: *вход, исходное состояние → выход, новое состояние*.

В качестве исходного состояния выступает первичная, до подачи управляющего воздействия, *когнитивная модель ситуации*. Результат когнитивного управления может быть различным в зависимости от многих факторов, в том числе, от того, как управляемый субъект участвует в решении практических задач и как он при этом

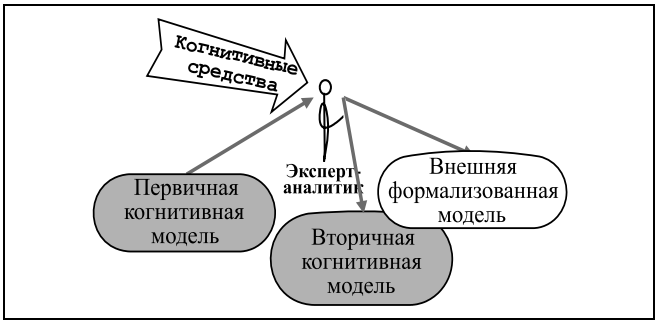


Рис. 1. Базовая модель когнитивного управления

[5] Например, это — неправильный выбор модели для экстраполяции при прогнозировании развития ситуации, в частности, принятие линейной модели, не соответствующей реальной динамике.

[6] По результатам исследований, представленных в работе [4] и опирающихся на психологические исследования последних 30 лет, в статье [5] сделан вывод, что назначение субъективных вероятностей, количественных оценок важности критериев, «весов», полезностей и т. п., гораздо менее надежно, чем «мягкие» качественные измерения типа сравнения, отнесения к классу, упорядочения.

[7] Некоторые, некритически принимаемые догмы в современной теории экспертных оценок обсуждаются в работе [10].

[8] Достаточно назвать, проводившийся в 2006 г. симпозиум ИФАК по социальным эффектам автоматизации, на котором тема окружающего интеллекта была среди основных тем (см. [8]).

[9] Как экспериментально установлено в работе [7], помимо когнитивной модели ситуации, человек может иметь фоновые знания о ситуации и ее контексте, которые не вошли в когнитивную модель в качестве значимых для решаемой задачи, но могут быть включены в нее при изменении структуры модели, например, под действием формализации или смены средств формализации.

[10] Уточним, что понятие когнитивной модели, которое встречается в рамках когнитивного подхода к моделированию [11], в терминах когнитивного управления является внешней формализованной моделью; она получается из когнитивной модели формализацией под воздействием какой-то из разновидностей общей формальной модели когнитивной карты, и ее можно было бы назвать «квазикогнитивной».

взаимодействует с компьютером. В любом случае в результате получается новое состояние когнитивной модели, *вторичная когнитивная модель* и, если это предусмотрено, выход в виде внешней формализованной модели ситуации: документа и (или) входных данных для компьютера.

В соответствии с принципом искажающего эффекта [12] предполагается, что в общем случае все три модели лишь более или менее согласованы друг с другом. (В частном случае эффект может быть несущественным в контексте решаемой задачи.) Подчеркнем, что даже представленная простейшая модель когнитивного управления, базовая МКУ, *с учетом допущения об искажающем эффекте*, существенно отличается от многих сложившихся представлений исследователей по поводу влияния формализации на первичные знания и представления людей. Достаточно сказать, что большинство специалистов «не видит» такого влияния — по умолчанию предполагается, что изменение формы первичных знаний и представлений, например, о решаемой задаче или ее исходных данных не меняет их смысла.

Несколько более подробно противоречивый спектр отношений к эффекту формализации освещен в работе [7]. Там же представлены результаты эксперимента, поставленного в соответствии с этой моделью, из которых следует, что игнорирование возможных значимых расхождений между тремя моделями или признание только положительного эффекта формализации могут стать существенными факторами риска для конечных результатов.

Базовая МКУ лишь фиксирует необходимость различать три модели ситуации, по крайней мере, при анализе вопросов, связанных с достоверностью. В ней не учитываются психологические факторы влияния, от которых зависит, будут ли полученные модели адекватны решаемой практической задаче. Теоретические соображения, анализ практики и наличие фактов существенной неадекватности формализованных представлений, обусловленных выбором средств формализации, приводят к тому, чтобы учитывать в МКУ *факторы психологического* влияния [8]. Они могут исходить как от самого эксперта-аналитика (факторы первого рода), так и от окружающего интеллекта — посредством факторов второго рода. Это уточнение приводит к типовой схеме влияния окружающего интеллекта на эксперта-аналитика в отношении рисков для достоверности результатов формализации, которая представлена на рис. 2. Как показывает анализ практики, наиболее сильными и устойчивыми факторами влияния здесь являются научные нормы и парадигмы. Типичным примером из области теории принятия решений служит вера многих ученых в адекватность линейной свертки оценок объекта по многим признакам в одну комплексную оценку (иначе, взвешенного усреднения оценок).

Отметим, что базовая МКУ, как и ее расширение с учетом факторов влияния на достоверность результатов, описывает процесс когнитивного управления укрупненно — как одношаговый процесс. Однако на ее основе легко строится *многотактная модель когнитивного управления*, в которой на разных шагах могут «вводиться» разные когнитивные средства формализации. В частности, она уместна в ситуациях, когда искомая формализованная модель ситуации настолько сложна и громоздка, что требуется выделять отдельные шаги, «такты», и соответствующие средства формализации, или когда разные шаги выполняются разными специалистами. (Например, в статье [6] рассматривается ситуация, когда одни специалисты определяют структуру дерева показателей качества, другие — относительные веса показателей, третьи — определяют оценки по показателям нижнего уровня.) Именно многотактная МКУ применялась в работе [7].

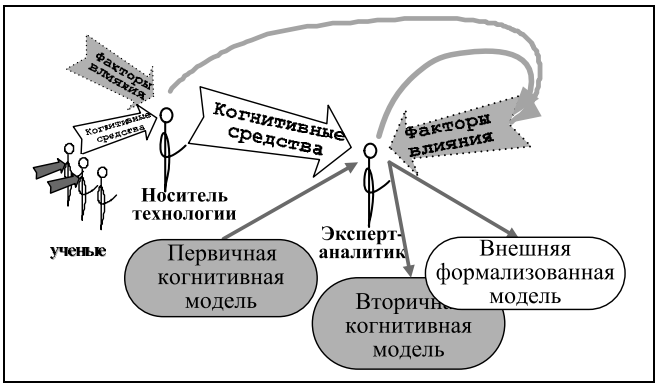


Рис. 2. Типовая схема влияния окружающего интеллекта на эксперта-аналитика

Многотактная МКУ может применяться в качестве основы для проектирования методик управления процессом формализации, ориентированных на предотвращение рисков формализации, в составе технологий поддержки решения управленческих задач, опирающихся на экспертные или иные субъектно-формальные методы, и для анализа рисков при проектировании интерфейсов таких технологий с пользователями.

Главная практическая ценность предложенной МКУ и связанных с ней схем влияния окружающего интеллекта на пользователя определенной технологии состоит в том, что она предопределяет, как структурировать различные факторы с целью выявления возможных источников риска и поиска средств компенсации. Это касается как типовой схемы, рассмотренной ранее (рис. 2), так и иных схем, которые могут быть получены в результате ролевого анализа жизненного цикла данной технологии[11].

Модель эксперта. Представленная МКУ связывает знания и представления человека, в частном случае, эксперта-аналитика, с воздействием навязанных когнитивных средств, никак не учитывая специфичных черт деятельности эксперта, в частности, его компетентности или успешности.

Исходя из анализа практической деятельности экспертов, которая не всегда согласуется с нормативными моделями структуры их знаний и деятельности в различных технологиях (см., например, работу [6]), и ориентируясь на анализ рисков для достоверности знаний от экспертов и других специалистов, вовлекаемых в процесс

[11] Отметим, что в частном случае субъект управления и управляемый субъект могут совпадать — человек может сам управлять собственным мыслительным процессом формализации.

применения экспертных методов, принята следующая модель эксперта [12].

Специалист является экспертом в некоторой области профессиональной деятельности (области компетентности), если он:

- обладает совокупностью эвристик[12,13], рутинное применение которых в стереотипных для него ситуациях обеспечивает относительно успешное решение (общих или частных) задач, адекватных ситуации[14], по крайней мере, в отсутствии факторов влияния, толкающих к отказу от применения своих профессиональных и интеллектуальных знаний и умений;
- способен с относительно высокой степенью успеха отличать нестереотипные (и пограничные) ситуации из своей области компетентности и — в случаях, когда его стереотипные эвристики неадекватны ситуации — осуществлять творческое решение задачи на основе имеющихся эвристик или привлекаемых знаний, ориентируясь на успешность конечных результатов деятельности.

Эта модель довольно хорошо согласуется с современными психологическими представлениями [13, 14], ставящими интеллектуальную компетентность в зависимость от тех интеллектуальных средств (ресурсов, опыта), которые применяются человеком при решении своих задач. При этом выделяются когнитивные и метакогнитивные ресурсы (метакогнитивный опыт), и метакогнитивный опыт в широком понимании трактуется как совокупность средств интеллекта («ментальных структур»), основное назначение которых — это «контроль за состоянием индивидуальных интеллектуальных ресурсов, а также коррекция хода интеллектуальной деятельности» [13]. В предлагаемой модели эксперта можно отнести к метакогнитивному опыту, или ресурсам, те эвристики (или иные мыслительные средства), которые позволяют контролировать применимость имеющихся эвристик к конкретной ситуации, управлять их работой в области творческой деятельности и др.

Таким образом, в описанной модели очень грубо и условно принимается, что область компетентности эксперта охватывает две подобласти, отличающиеся в зависимости от интеллектуальных средств, работающих при решении задач и обеспечивающих относительную успешность. Этим данная модель существенно отличается от традиционных представлений об экспертах в теории экспертных оценок, в искусственном интеллекте, в науке управления, основанной на формальных методах, в целом. Для них характерно стремление ограничить роль эксперта стереотипными схемами, которые хорошо согласуются с формальными методами. При этом область творческого решения задач экспертами остается «за скобками».

В данной модели предполагается, что знание, которое формирует эксперт, действующий в области стереотипных для него ситуаций, является наиболее достоверным (благодаря приемлемой успешности используемых стереотипных эвристик, подтвержденной опытом), тогда как в случае нестереотипных, нетипичных ситуаций достоверность может снижаться из-за риска недостаточно проверенных решений.

Предполагается также, что за рамками областей более или менее результативной (по успешности, достоверности) деятельности, в которых человек выступает как эксперт благодаря репродуктивному или творческому переносу профессиональных знаний и умений, лежат области с меньшей достоверностью результатов, в которых возрастает роль немотивированных эвристик. Грубо говоря, они составляют область «обыденного мышления», когда эксперт уже перестает быть экспертом[15].

Напомним, что согласно результатам обширных психологических исследований, приобретшим популярность благодаря известной книге Р. Чалдини [16], для обыденного мышления характерно применение немотивированных эвристик, неадекватных конкретной ситуации. Эти знания, систематизированные Чалдини в виде ряда принципов, обобщены и структурированы в качественной модели действия стереотипов и факторов влияния [6], учитывающей анализ практической деятельности экспертов. Согласно модели, применению неадекватных эвристик способствуют:

— объективные и субъективные условия, такие как недостаток времени или познавательных ресурсов для исчерпывающего анализа ситуации, информационная сложность ситуации, неопределенность, отсутствие выбора и др.;

— специфика действия стереотипов, запускаемых автоматически без достаточных оснований (предполагается механизм условного рефлекса)[16];

— «*факторы веры*» — факторы влияния, повышающие субъективную уверенность в адекватности принимаемых решений, помимо их объективной адекватности, вплоть до существенных отклонений от рационального поведения.

К факторам веры можно отнести такие принципы Чалдини, как принцип обязательства, или занятой позиции; принцип социального доказательства; принцип

[12] Понятие «эвристика» («находка» от греч. — отыскиваю, открываю) является принятым в психологии понятием. Эвристики нередко связывают с мыслительными операциями поиска решений (не обязательно осознаваемыми) — как ответ на поиск: способ, прием, при помощи которого затем находится и принимается решение, или даже готовое решение. Как и в принятом в строгих науках понятии эвристики (или эвристического метода), имеется в виду средство решения задачи без гарантий достижения результата, однако специфика психологического понятия — в том, что оно относится к субъективным средствам решения.

[13] К эвристикам можно отнести и знания, приобретенные из опыта, не обязательно осознаваемые, и научные знания, которые проверены на практике, или, по крайней мере, истинны и значимы для практики, с точки зрения эксперта, и мыслительные средства оперирования с профессиональными знаниями.

[14] Речь идет об относительной успешности, поскольку отдельные неудачи или недостаточно достоверные результаты работы эксперта нельзя исключить в силу множества факторов, например, недостоверности или недостатка информации, влияния интересов и др.

[15] Противопоставление экспертного и обыденного мышления заимствовано у Л. Г. Ионина [15], который различает эти виды мышления по используемым стереотипам (хотя и в несколько иной терминологии).

[16] Попросту говоря, стереотипы (или стереотипные эвристики) — это первое, что приходит на ум в той или иной ситуации при поиске ответов на возникающие вопросы.

авторитета [16] — общие принципы поведения, типичные для людей. К ним же относятся и факторы, характерные для научного сообщества: научные парадигмы и нормы научных направлений и школ и даже мифы [6], которым подвержены как практики, так теоретики, например, миф «число лучше (чем качественные оценки)».

Описанное выше модельное разбиение областей деятельности эксперта по областям, отличающимся по достоверности результатов, представлено на рис. 3. Стрелками показано предполагаемое снижение достоверности результатов экспертной деятельности в зависимости от степени соответствия решаемых задач и ресурсов, влияющих на успешность (при отсутствии навязываемых эксперту форм мышления, т. е. отсутствии когнитивного управления).

Уточним, что граница между областью компетентности и областью обыденного мышления в содержательном плане относительна: эксперт может сравниваться по компетентности как со средними специалистами, так и с «человеком с улицы». Однако с модельной точки зрения эта граница при фиксированных задачах зависит, в основном, от наличия ресурсов для решения задач, а также — для контроля за их адекватностью.

Поведение эксперта под когнитивным управлением. Риски. Исходя из данной модели эксперта, нетрудно предположить, что когнитивное управление, основанное на допущениях о возможностях экспертов, а не на реальном знании их ресурсов, создает риск для качества (достоверности) результатов из-за использования не тех средств, которые ведут к успеху. К пониманию того, как это происходит на практике, приводит анализ типичного поведения экспертов в условиях, когда эксперт должен следовать навязанной структуре знаний и деятельности и при этом обнаруживается *когнитивный диссонанс*[17] между этой структурой и его собственными представлениями о ситуации, в которую его привлекали как эксперта, и (или) о своих возможностях [8]. Автору неоднократно приходилось наблюдать две типичные стратегии поведения эксперта в условиях диссонанса:

- *пассивная стратегия* подчинения когнитивному управлению, т. е. предоставление, например, требуемых экспертных оценок, в достоверности которых эксперт не уверен;
- *активная стратегия*, ориентированная на успешность конечных результатов деятельности, в состав которой входит экспертиза, с предоставлением тех экспертных данных, которые, по оценке эксперта, окажут наилучшее влияние на конечный результат.

Каждая из стратегий имеет свои источники риска получить результаты, неадекватные общим целям деятельности. Эти источники объяснимы теоретически, хотя и в рамках разных теорий.

Активная стратегия соответствует представлениям о поведении «человека управляемого» в теории активных систем. Согласно парадигме активных систем, человек обладает свойством сознательного выбора той модели поведения, которая наиболее отвечает его целям в данной ситуации. В частности, он может внешне действовать в рамках заданных «правил игры», а фактически следовать своим целям и правилам. Одним из «инструментов» эксперта при такой стратегии становится рефлексия — мысленное моделирование окружающей его среды с целью прогнозирования реакции на те или иные предоставляемые им данные. В терминах нашей модели он пытается творчески решить задачу, чтобы повлиять на конечные результаты деятельности, используя для этого метакогнитивный ресурс рефлексии. Неадекватное прогнозирование экспертом поведения среды (т. е., в наших терминах, окружающего интеллекта) служит явным источником риска[18].

Пониманию когнитивных процессов, происходящих при пассивной стратегии в условиях, когда эксперт должен дать большое число отдельных оценок, способствуют экспериментальные исследования и объяснительные гипотезы психолога С. И. Шапиро, которые относятся к «алгоритмам, пересаженным в человеческую голову» [18]. Его исследования показывают, что фокусирование сознания на выполнении отдельных мысленных действий приводит к утрате целостности (гештальта); человек оказывается в ситуации сравнительно низкого «операторного» уровня мышления, характерного для неопытных программистов. Если эксперт выбирает такую стратегию при недостаточной компетентности в выполнении отдельных действий, велик риск перехода на уровень обыденного мышления, со свойственным ему меньшим уровнем достоверности результатов. (Для краткости мы не останавливаемся на дополнительных факторах риска — факторах веры 1-го и 2-го рода, систематически действующих в этих условиях.)

В заключение подчеркнем практическую ценность представленной модели эксперта и основанном на ней анализе типичных стратегий поведения эксперта в усло-

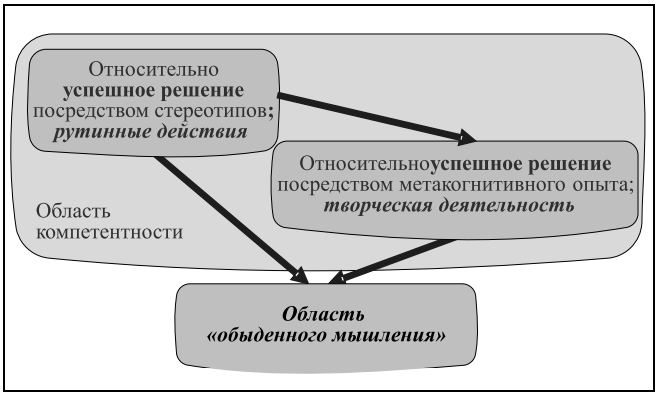


Рис. 3. Грубая модель компетентности эксперта

[17] Понятие «когнитивный диссонанс» введено Л. Фестингером [17] и определяется как существование противоречивых отношений между отдельными элементами в системе знаний, мнений или представлений человека относительно самого себя, собственного поведения и своего окружения; между тем, что человек знает и чему он верит, и тем, что он делает. Диссонанс вызывает стремление к его уменьшению или устранению.

[18] Рефлексия не обязательно служит средством творческого решения задач: в ряде известных видов профессиональной деятельности она является стереотипной эвристикой, определяющей компетентность эксперта.

виях навязанных форм мышления и деятельности для планирования деятельности экспертов и других специалистов-пользователей той или иной технологии в *ходе проектирования пользовательского интерфейса*.

Процесс взаимодействия с компьютером пользователя-носителя знаний при формализации его знаний посредством пользовательского интерфейса по существу представляет собой процесс когнитивного управления пользователем со стороны окружающего интеллекта. Проектирование этого процесса опирается на те или иные модельные представления о человеке, и при современных нормах построения интерфейса и учета человеческого фактора такие представления (нередко не осознаваемые разработчиками) обычно недостаточно обоснованы и не учитывают того, как думает успешно действующий эксперт. При проектировании интерфейса в соответствии с предложенной моделью следует контролировать риски для достоверности конечных результатов деятельности, обусловленные возможным несоответствием привычных представлений фактам.

Еще одна рискованная форма влияния на экспертов возникает в типичной ситуации, когда результат формализации первичной когнитивной модели у эксперта расценивается как ошибка со стороны носителей технологии. Ситуации такого рода (например, «ошибки» транзитивности предпочтений) довольно хорошо известны. Анализ рисков в такого рода ситуациях, выходящий за рамки данной статьи, проведен в работах [8, 19] на основе модели действия стереотипов и факторов влияния с учетом типичных факторов риска из-за человеческого фактора. Анализ показал, что имеется ряд систематически действующих факторов влияния, прежде всего, второго рода, которые создают риск ошибочно признанной ошибки и, как следствие, ошибочно скорректированного знания эксперта-аналитика. Поэтому целесообразно исследовать определенные модели представления знаний экспертов в отношении их способности действительно обнаруживать ошибки и с учетом этого строить взаимодействие с экспертами в конкретных технологиях во избежание рисков.

2. НЕКОТОРЫЕ ПРИНЦИПЫ И ПОДХОДЫ К ЗАЩИТЕ ОТ РИСКОВ, ОБУСЛОВЛЕННЫХ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМ ФАКТОРОМ

Отсутствие гарантий достоверности современных субъектно-формальных методов и соответствующих компьютерных технологий делает целесообразным при их использовании, особенно — для приложений с высокой ценой риска, общий *принцип защиты от рисков из-за человеческого фактора в процессе применения* данного метода и его результатов для решения конкретной практической задачи, начиная с ранних этапов.

Суть принципа состоит в следующем. В случае принятия решения о применении рискованного метода (т. е. метода, не гарантирующего достоверности результатов) необходимо применять те или иные меры, направленные на «блокирование» или, по крайней мере, ограничение роли рисков в процессе применения данного метода и внедрении таких мер в соответствующую технологию.

При этом под процессом применения метода подразумевается не только однократное или многократное получение определенных результатов по данному методу, но и разного рода предварительная подготовка, равно как и использование результатов в ходе решения требуемой практической задачи (вплоть до завершения «миссии»)[19]. К предварительной подготовке следует относить, например, настройку тех или иных параметров, требуемых для решения конкретной задачи, предварительное введение экспертных знаний и др.

Направление исследований по реализации предлагаемого общего принципа только начинает складываться. Однако уже сегодня можно выделить *некоторые частные принципы и подходы*:

— *анализ рисков для достоверности*, как общих, так и специфичных для принятой в методе или технологии модели формализованного представления знаний специалистов, *по всем этапам жизненного цикла*;

— накопление информации о типичных ошибках и факторах риска;

— *раннее обнаружение* и блокирование источников риска и семантических ошибок формализации, не препятствующих дальнейшему применению метода, в частности, — посредством *отладки формализуемых знаний* с контролем над рисками;

— *сквозной контроль применимости* общей модели знаний, лежащей в основе формализации, к конкретной практической ситуации, включая априорный и апостериорный контроль.

Остановимся на некоторых частных принципах, предполагая остальные более или менее понятными.

Принцип отладки формализуемых знаний для устранения источников риска и прямых семантических ошибок имеет очевидный прототип — проектирование программного обеспечения с выявлением ошибок в программах, начиная с их спецификаций. Цель таких действий — не только выявление ошибок или источников риска до практического применения результатов, но и сокращение стоимости усилий по корректировке. Знания о рисках для достоверности и типичных ошибках, полученные в результате теоретического анализа и опыта предшествующего использования, полезны для повышения эффективности отладки.

Суть принципа сквозного контроля применимости общей модели M к практической ситуации такова. Даже если носитель формализуемых знаний S о ситуации (эксперт, аналитик, ЛПР или «посредник», выполняющий формализацию) априорно (т. е. до применения предлагаемой модели M к знаниям S) оценивает модель M как применимую для решения конкретной задачи, эта оценка может измениться в ходе применения модели M. Это изменение оценки может произойти на разных этапах жизненного цикла субъектно-формального метода: на этапе формализации, когда модель M применяется в качестве схемы для представления первичных знаний S[20]; в ходе отладки, когда обработка результата формализации $M(S)$ дает неприемлемый результат; в ходе практического использования конечного результата $R(M(S))$,

[19] Именно в контексте решения целостной практической задачи управления может проявляться недостаток достоверности.

который получается применением формального метода R к результату формализации $M(S)$ и зависит не только от знаний S, но и от модели M и метода R.

Если апостериорно обнаруживается, что общая модель M неприменима (по тем или иным признакам) для формализации знания S, это приводит к выводу, что последующее применение результата формализации $M(S)$ создает риск получения неадекватных результатов, тем самым — достоверность $M(S)$ снижается. В ряду мер, направленных на защиту от обнаруженных рисков, стоит коррекция $M(S)$ (если она возможна).

Убедительный пример такого апостериорного контроля применимости принятой модели знаний, используемого в банковских технологиях с высокой ценой риска из-за недостоверных результатов, представлен в работе [20]. Там речь идет о периодическом контроле и корректировке качества модели экспертных знаний о клиентах, на основании которой производится оценка клиентов («скоринг») и принимаются решения по их кредитованию. Это «приводит к замыканию контура системы управления процессом кредитования населения» по критерию качества управления, которое связывается с качеством модели экспертной оценки клиентов.

Отметим, что корректировка по результатам контроля применимости общей модели знаний в ходе применения результатов метода может быть вызвана как изначально недостаточной достоверностью формализованной модели, так и объективным изменением моделируемой ситуации. Данная работа построена без учета последнего варианта[21].

Критерии достоверности формализации. При реализации общего принципа защиты от рисков в ходе применения данного экспертного метода открытыми оказываются вопросы о критериях достоверности формализации и методологии их выявления. Особый интерес представляют критерии, применимые на ранних этапах, т. е. до формальной обработки формализованной модели исходных знаний экспертов или других специалистов.

Автором совместно с коллегами выполнены некоторые не только теоретические, но и эмпирические исследования в этом направлении по нескольким типам моделей знаний, используемых в субъектно-формальных методах, включая [21]:

- модели на основе когнитивных карт;
- модель дерева показателей со взвешенным усреднением частных показателей (при оценке качества программного обеспечения, связанного с безопасностью);
- модель нечеткого алгоритма, использующего операторы перехода по примерному равенству, в сочетании с двумя моделями для оценки достоверности (истинности) альтернативных результатов применения алгоритма.

Сопоставление результатов для разных типов моделей знаний свидетельствует в пользу гипотезы о продуктивности единого подхода к проблеме достоверности формализованных знаний, когда становится возможным перенос знаний об источниках риска, критериях обнаружения рисков и прямых ошибок, методах анализа, которые получены на одном типе моделей и решаемых задач, на другие типы.

Эти исследования приводят к выводу, что более эффективное обнаружение прямых ошибок и рисков для достоверности в результатах формализации может быть достигнуто при междисциплинарной интеграции знаний из разных областей. В частности, оказалось, что обоснование некоторых критериев отсутствия рисков и техники коррекции сомнительных или явно некорректных формализаций потребовало привлечения модели действия стереотипов, опирающейся на психологические знания, модели когнитивного управления, некоторых лингвистических знаний. Такая «междисциплинарная» ситуация имела место, например, для таких критериев отсутствия рисков, как общий критерий адекватности перевода промежуточной вербализованной модели исходных знаний, которая ориентирована на человека, на язык математической модели (которая подвергается формальной обработке); как критерий когнитивной ясности (проще говоря, легкости интуитивного понимания) конечной модели. Эти критерии были разработаны, обоснованы и проверены применительно к моделям на основе когнитивных карт [21], но могут быть перенесены и на другие типы моделей знаний.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ: ВЫВОДЫ, ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Проводимые исследования по проблеме рисков, обусловленных человеческим фактором при решении практических задач управления посредством экспертных методов и информационных технологий поддержки решения таких задач, позволяют прийти к двум выводам. С одной стороны, имеются различные теоретические, экспериментальные и даже практические знания, ведущие к пониманию или прямо говорящие о том, что человеческие факторы могут быть источником риска для качества результатов. С другой стороны, даже более или менее широко известные знания о рисках и их источниках, в основном, не замечаются научным сообществом или, в лучшем случае, недооцениваются, что теоретически вполне объяснимо с учетом психологических факторов, согласно представленным выше моделям.

Тем самым, имеется почва для теоретического развития и практического применения экспертных и, в общем случае, субъектно-формальных методов, которые не обеспечивают приемлемого для ряда приложений уровня качества получаемых решений (адекватности, достоверности, надежности, безопасности, информативности).

Можно выделить две значимые проблемы, разрешение которых могло бы повлиять на сложившуюся ситуацию:

- научно-методологическая *проблема обоснованности современных научных представлений о том, как думает и как должен думать человек* (эксперт, аналитик, ЛПР,

20 Типичный вид такой переоценки — обнаружение «ошибки эксперта» при формализации, которое означает конфликт между S и M; если эксперт уверен в правильности своих первичных знаний S, остается принять, что модель M неприменима к ним [19].

21 На практике требуется анализ, различающий эти ситуации.

менеджер), и соответствующих нормативных — по отношению к человеку — теоретических моделей, закладываемых в тот или иной субъектно-формальный метод;

- *прикладная проблема качества конкретных знаний*, порождаемых при использовании определенных экспертных методов и технологий в условиях действия человеческих факторов.

Суть проблемы обоснованности состоит в том, что по современным нормам обоснования того, почему человек думает или должен думать так или иначе, лежат за рамками строгой науки. В результате, с одной стороны, имеет место господство нормативных методов с обоснованиями в виде «здравого смысла», «точек зрения», в лучшем случае, «аксиом»; а с другой — для привлечения в рамки науки управления знаний о человеке по существу нет подходящих теоретических схем.

Значимым шагом в разрешении этой проблемы могло бы стать создание *научного языка для описания субъектно-формальных методов*, который позволял бы учитывать мыслительные процессы, протекающие в жизненном цикле таких методов и соответствующих технологий, причем — учитывать в той мере, в какой они влияют на достоверность конечных результатов. Желательным свойством такого языка является «полифония» — возможность выделять разные аспекты процессов решения задач, прежде всего, информационный аспект, игнорирующий человеческие факторы, и субъектно-зависимый аспект, позволяющий привлекать научные знания о человеческих факторах.

При решении прикладной проблемы качества знаний, порождаемых при использовании экспертных методов и технологий в условиях действия человеческих факторов, для приложений с высокой ценой риска перспективными представляются:

— разработка методов и технологий применения экспертных методов, ориентированных на проблему качества конкретных знаний и ее зависимость от человеческих факторов;

— общий *принцип защиты от рисков в процессе применения* данного метода и его результатов *на всех этапах жизненного цикла метода, начиная с ранних этапов.*

Одним из перспективных направлений развития общего принципа защиты от рисков в ходе применения некоторого экспертного метода и его результатов при решении конкретных практических задач управления представляется поиск, разработка, теоретическое и эмпирическое обоснование критериев достоверности формализации, применимых для раннего обнаружения прямых ошибок и рисков формализации (до обработки формализованных знаний).

Некоторые результаты теоретических и эмпирических исследований, полученные в этом направлении для разных типов моделей знаний [21], свидетельствуют о целесообразности развития единого методологического подхода к формированию системы критериев раннего обнаружения прямых ошибок и рисков формализации для разных типов экспертных методов и технологий. Эти исследования позволяют также прийти к выводу, что более эффективное обнаружение прямых ошибок и рисков для достоверности в результатах формализации может быть достигнуто при междисциплинарной интеграции знаний, в частности, знаний из психологии, лингвистики, науки управления.

Представленные качественные модели, которые характеризуют экспертов в отношении достоверности порождаемых ими знаний и воздействия на них «окружающего интеллекта», являются попыткой связать знания гуманитарных наук с идеями науки управления и знаниями, почерпнутыми из опыта. Модели ориентированы не только на исследования рисков, обусловленных человеческим фактором, но и на проектирование конкретных технологий в соответствии с выдвинутыми принципами защиты от рисков.

Планируются дальнейшие, более углубленные эмпирические исследования по проблеме рисков и дальнейшая разработка принципов защиты от рисков из-за человеческого фактора, в частности, для когнитивного подхода к моделированию слабоструктурированных ситуаций и систем с доведением до практичных методик раннего обнаружения рисков и прямых ошибок формализации. В качестве основного формального аппарата для моделирования когнитивных процессов взаимодействия пользователей с компьютерной системой при проектировании пользовательского интерфейса и разработки соответствующих методик раннего обнаружения и блокирования рисков формализации предполагается применять многотактную модель когнитивного управления процессом формализации в связке с соответствующей схемой влияния окружающего интеллекта на пользователей технологии.

Планируется также разработка и эмпирическая проверка принципов построения языка для описания субъектно-формальных методов решения практических задач управления и междисциплинарного анализа мыслительных процессов, которые протекают в жизненном цикле таких методов и соответствующих технологий и влияют на достоверность конечных результатов. Предполагается, что такой язык должен учитывать не только типичную схему применения субъектно-формальных методов «формализация → формальная обработка», но и другие схемы, которые могут использоваться, например, для методов управления в человеко-машинных системах, для методов решения задач управления, включающих в себя идентификацию объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Советский* энциклопедический словарь. — М.: Советская энциклопедия, 1980.
2. *Развитие* представлений о человеческих факторах в науке управления. Предисловие редакторов // Человеческий фактор в управлении / Под ред. Н. А. Абрамовой, К. С. Гинсберга, Д. А. Новикова. — М.: КомКнига. 2006. — С. 5—51.
3. *Канеман Д.* Карты ограниченной рациональности: психология для поведенческой экономики // Психологический журнал. — 2006. — № 2. — Т. 27. — С. 5—28.
4. *Ларичев О. И., Мошкович Е. М.* Качественные методы принятия решений. — М.: Наука: Физматлит, 1996.
5. *Асанов А. А., Ларичев О. И.* Влияние надежности человеческой информации на результаты применения методов принятия решений // Автоматика и телемеханика. — 1999. — № 5. — С. 20—31.

6. *Абрамова Н. А.* О некоторых мифах в оценке качества программного обеспечения // Надежность. — 2004. — № 1 (8). — С. 38—63.
7. *Абрамова Н. А., Вассунов И. В.* О влиянии формализации на адекватность когнитивной модели управленческой ситуации // Тр. 5-й междунар. конф. «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций» CASC'2005 / ИПУ РАН. — М.; 2005. — С. 47—51.
8. *Abramova N. A.* A subject of intellectual activity under cognitive control of ambient intelligence // 9th IFAC AshBoHC'06 symposium: Preprint. — May 2006
9. *Дёрнер Д.* Логика неудачи. Стратегическое мышление в сложных ситуациях. — М.: Смысл, 1997. — 243 с.
10. *Орлов А. И.* Современный этап развития теории экспертных оценок // http://orlovs.pp.ru/diff/antorlov/expertoc.htm.
11. *Авдеева З. К., Коврига С. В., Макаренко Д. И., Максимов В. И.* Когнитивный подход в управлении // Проблемы управления. — 2007. — № 3 (*в печати*).
12. *Абрамова Н. А., Коврига С. В.* На пути от информационных технологий к технологиям знаний // 1-я Междунар. конф. «Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций»: Материалы конф. ИПУ РАН. — М., 2001. — Т. 3. — С. 149—155.
13. *Холодная М. А.* Психология интеллекта: парадоксы исследования. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Питер, 2002. — 384 с.
14. *Холодная М. А., Берестнева О. Г., Кострикина И. С.* Когнитивные и метакогнитивные предпосылки интеллектуальной компетентности в научно-технической деятельности // Тез. докл. на 1-й Всеросс. конф. по когнитивной науке. — Казань, 2004.
15. *Ионин Л. Г.* Понимание и экспертиза // Вопросы философии. — 1991. — № 10.
16. *Чалдини Р.* Психология влияния. — СПб.: Питер, 2001. — 270 с.
17. *Фестингер Л.* Теория когнитивного диссонанса. — СПб.: Ювента, 1999 — С. 15—52.
18. *Шапиро С. И.* Мышление человека и переработка информации ЭВМ. — М.: Сов. радио, 1980 — 288 с.
19. *Абрамова Н. А., Коврига С. В.,* О рисках, связанных с ошибками экспертов и аналитиков // Проблемы управления. — 2006. — № 6. — С. 60—67.
20. *Мандель А. С., Семенов Д. А.* Скоринг-оценивание и оптимизация процесса кредитования физических лиц как задача принятия решений в замкнутом контуре управления // Человеческий фактор в управлении / Под ред. Н. А. Абрамовой, К. С. Гинсберга, Д. А. Новикова. — М.: КомКнига, — 2006. — С. 345—369.
21. *Абрамова Н. А., Коврига С. В., Новиков Ф. В.* О достоверности формализованных знаний и некоторых критериях ее оценки // Тез. докл. 3-й междунар. конф. по проблемам управления / ИПУ РАН. — М.; 2006. — Т. 2. — С. 157.

☎ *(495) 334-92-09*

e-mail: abramova@ipu.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии Д. А. Новиковым. ❑

Международная научно-практическая конференция «УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИЯМИ–2007»

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН совместно с рядом ведущих научно-исследовательских институтов и вузов Российской Федерации объявляет о проведении международной научно-практической конференции «Управление инновациями—2007», которая состоится 12—14 ноября 2007 г.

На конференции предполагается обсудить теоретические основы и практические проблемы управления инновациями, в том числе:

- инновации и новое качество экономического роста;
- научно-техническая информация как хозяйственный ресурс и как фактор производства;
- управление технологической структурой производства на предприятии;
- макроэкономические предпосылки инновационных процессов;
- инновации и цикличность экономической динамики;
- человеческий капитал, его формирование и использование;
- институциональные аспекты стимулирования инновационных процессов;
- национальная инновационная система России;
- инновационные процессы в экономике российских регионов;
- моделирование и прогнозирование инновационных процессов;
- инновационная политика государства;
- стратегия инновационного развития России.

В рамках конференции пройдут **третьи Друкеровские чтения** «Система неформальных институтов в современной экономике России».

Предполагается публикация сборника тезисов докладов к началу конференции. Все материалы — регистрационная форма и тезисы докладов — должны быть получены оргкомитетом в электронном виде по адресу InnovConf@mail.ru не позднее 1 июня 2007 г. Приглашение и программа конференции будут отправлены участникам конференции по электронной почте до 1 октября 2006 г.

Все контакты между Оргкомитетом и участниками осуществляются только по электронной почте: InnovConf@mail.ru. Председатель Оргкомитета конференции — д-р экон. наук Р.М.Нижегородцев.

УДК 004.272.45

МЕТОД ОДНОРОДНОГО РАСШИРЕНИЯ СЕТЕЙ СВЯЗИ МНОГОПРОЦЕССОРНЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

В. С. Подлазов, В. В. Соколов

Институт проблем управления им В. А. Трапезникова РАН, г. Москва

Предложен метод однородного расширения любых системных сетей, который сохраняет такие их функциональные свойства, как способ и качество маршрутизации и задержки передачи данных, и позволяет собирать параллельным образом большие системные сети из малых сетей с заданными функциональными свойствами.

Светлой памяти
Ивери Варламовича Прангишвили
посвящается

ВВЕДЕНИЕ

В середине 1970-х г. И. В. Прангишвили с сотрудниками предложили концепцию однородных параллельных вычислительных систем [1], которая привела к созданию, в частности, многопроцессорной вычислительной системы (МВС) ПС2000. Межпроцессорной сетью связи в этой МВС был кольцевой коммутатор, который предоставлял некоторые возможности для параллельной передачи данных. В работах [2—11] эти возможности были в максимальной степени расширены благодаря применению мультикольцевых сетей связи, которые оказались равносильными сетям связи со структурой обобщенных гиперкубов. Однако сам метод распараллеливания сети связи оставался узкоспециализированным — ориентированным на мультикольцевые или гиперкубовые структуры. Вопрос о существовании единого метода распараллеливания сети связи с произвольной структурой в литературе даже не ставился. В данной статье этот вопрос рассматривается в общем виде и делается первый шаг к его решению. Этот шаг основывается на описании сетей связи с использованием структур, называемых неполными уравновешенными блок-схемами (УБС) [12]. Математическая теория УБС была развита в комбинаторике в середине прошлого века для целей планирования сложных экспериментов в селекции, генетике и др. В настоящей статье она получает новое применение для описания сетей связи МВС. В настоящее время за этими сетями утвердился термин системные сети (System Area Network — SAN) [13], который и используется в дальнейшем.

1. МУЛЬТИКОЛЬЦЕВЫЕ СИСТЕМНЫЕ СЕТИ

В качестве отправной точки рассмотрим кольцевой коммутатор МВС ПС2000, в котором параллельно могут осуществляться некоторые передачи одинаковых по длине кадров. Теоретическая модель кольцевого коммутатора выглядит следующим образом [14]. Кольцо используется в полудуплексном режиме, при котором все параллельные передачи осуществляются в одну сторону с возможностью смены направления передачи после каждого такта. Каждый такт равен длительности кадра. За один такт может осуществляться параллельная передача кадров по неперекрывающимся маршрутам.

В этой модели произвольная перестановка кадров между узлами осуществляется за $N - 1$ тактов, где N — число узлов (процессоров) на кольце [14]. При перестановке имеет место однозначная адресация кадров «из одного узла в один и только один узел».

В более общем случае произвольной индивидуальной адресации кадров можно говорить только о среднем числе кадров, переданных за один такт — емкости сети C. В симплексном (с однонаправленной передачей) кольце при равновероятной адресации кадров она равна 2, в полудуплексном кольце (коммутатор ПС2000) при передаче кадров по кратчайшим маршрутам — 4, а в случае дуплексной кольцевой сети — 8 [2, 3, 5, 6]. Для достижения последнего значения необходимо составить дуплексное кольцо из двух симплексных колец со встречными направлениями передачи.

Четырехкратное увеличение пропускной способности при переходе от симплекса к дуплексу является коммулятивным эффектом от увеличения степени параллелизма сети по двум направлениям — за счет увеличения

числа колец и за счет увеличения числа параллельно передаваемых кадров в каждом кольце. Хотелось бы сохранить этот нелинейный рост пропускной способности и при дальнейшем увеличении числа колец.

Это удается сделать, если использовать кольца с разными шагами. Обычное однонаправленное кольцо имеет шаг 1. Кольцо с обратным направлением передачи (встречное кольцо) имеет шаг $N - 1$ или -1 по mod N. Набор колец с разными шагами образует мультикольцо. На рис. 1 представлено мультикольцо с девятью узлами, состоящее из колец с шагами 1, 2, 3 и 6 (или -3). Для мультикольца решалась задача поиска такой его структуры, которая обеспечивает бесконфликтную реализацию произвольной перестановки за минимальное число тактов, а при произвольной адресации обеспечивает максимальную емкость мультикольца.

Для обоих видов адресации рассматривалось коммутируемое мультикольцо [3, 4, 7, 8], узел которого содержит однокаскадный коммутатор, осуществляющий перестановку кадров между кольцами. Для произвольной адресации дополнительно рассматривалось некоммутируемое мультикольцо, в котором любой кадр доставлялся от источника к приемнику по тому кольцу, в которое он был передан [3, 5 и 6]. Кадры передаются по кольцу с кратчайшим маршрутом. В некоммутируемом мультикольце достигаются минимальные времена передачи кадров.

Для обоих видов мультиколец поставленные задачи были решены, но с разной степенью общности. Для некоммутируемых мультиколец при произвольной адресации все результаты носят эмпирический характер, т. е. они получены в результате стохастической оптимизации структуры мультикольца для каждого заданного числа узлов [3, 5, 6]. Выяснилось, что емкость мультиколец с оптимальной структурой (набором колец) растет прямо пропорционально квадрату числа колец в них. Это означает, что при числе колец $\sim\sqrt{N}$ емкость мультикольца становится прямо пропорциональной числу узлов N. Были построены наращиваемые мультикольца с такими свойствами для $N \leqslant 256$. Частично они представлены в табл. 1. При этом остается неясным, сохранятся ли эти свойства для больших N, так как строгого обоснования для них найдено не было.

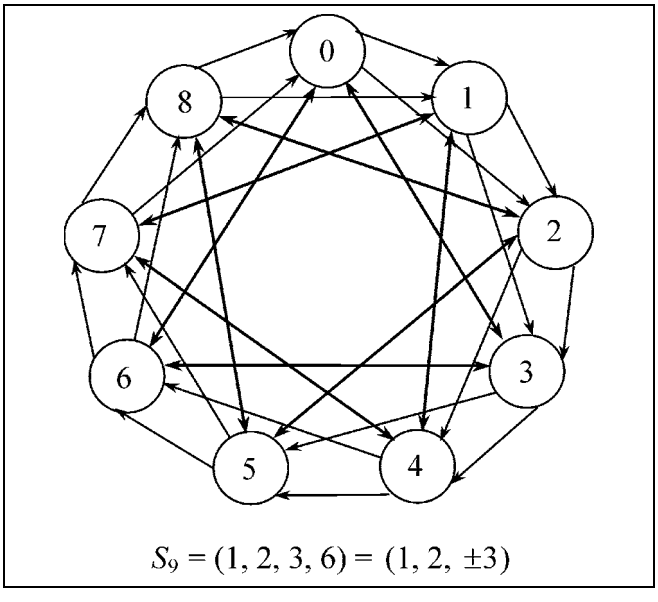


Рис. 1. Троичное мультикольцо с девятью узлами

Таблица 1

Наращиваемые мультикольца, для которых $C \approx N$

Число узлов	Число колец	Набор колец
16	4	±1, ±3
32	6	±1, ±2, ±3
64	8	±1, ±2, ±3, ±7
128	12	±1, ±2, ±3, ±5, ±7, ±9
256	16	±1, ±2, ±3, ±5, ±7, ±9, ±11, ±13

Для коммутируемых мультиколец была построена теория реализации произвольной перестановки при пакетной коммутации по статическим расписаниям. Эта теория построена для p-ичных мультиколец, шаги колец которых задаются цифрами p-ичной системы счисления [4, 7—11]. На рис. 1 представлено троичное мультикольцо. Эта теория справедлива и для обобщенных p-ичных гиперкубов. В ней были выяснены условия бесконфликтной реализации произвольных перестановок при пакетной коммутации и достигаемые при этом сетевые характеристики.

В частности, p-ичное мультикольцо с $N = p^r$ узлами, содержащее $m = (p - 1)r$ колец, позволяет бесконфликтно осуществить произвольную перестановку за $n = 2\left\lceil \frac{2(\sqrt{N}-1)}{(p-1)r} \right\rceil$ тактов при четном r. При $p = \sqrt{N}$ мультикольцо превращается в распределенный однокаскадный неблокируемый самомаршрутизируемый коммутатор.

В случае произвольной адресации p-ичное мультикольцо с $N = p^r$ узлами имеет емкость $C = p(N - 1) = N^{1/r}(N - 1)$ [3, 4]. При $p = 2$ и $r = \log^2 N$ имеем $C = 2(N - 1)$, а при $p = \sqrt{N}$ и $r = 2$ — $C \approx N^{3/2}$.

Здесь обращает на себя внимание то, что при одной схеме распараллеливания системной сети (в виде мультикольца) для разных видов мультиколец пришлось использовать разные схемы описания и получить разные по степени общности результаты. Хотелось бы найти такой метод распараллеливания системных сетей, который имел бы одинаковую схему описания для любой сети. По-видимому, такой метод удалось найти. Он определяется теорией уравновешенных блок-схем с некоторыми нашими дополнениями.

2. УРАВНОВЕШЕННЫЕ БЛОК-СХЕМЫ

Что представляют собой блок-схемы? Для их определения используются только три понятия: элемент, блок и вхождение элемента в блок [12]. Параметрами являются: число элементов N, число блоков M, число эле-

ментов в каждом блоке k и число m блоков, в которое входит каждый элемент. Блок-схема задается набором блоков, в которых элементы размещены согласно следующему условию: N элементов размещены по M блокам так, что каждый блок содержит *точно* k различных элементов, каждый элемент появляется *точно* в m различных блоках и каждая пара элементов входит *точно* в один блок. Теория рассматривает случай $k < N$, когда размер блока меньше числа элементов, и $N \leqslant M$, когда число элементов не больше числа блоков.

Необходимые условия существования УБС задаются выражениями [12]:

$$\begin{gathered} Nm = kM, \\ m(k-1) = N-1, \\ k \leqslant m,\ k < N. \end{gathered} \qquad (1)$$

Минимальное число блоков и максимальное число элементов обеспечиваются в случае симметричных блок-схем, когда $m = k$ и $M = N$. Они имеют всего два параметра: фактор вхождения m и число элементов или блоков $N = m(m-1)+1$. Достаточное условие существования симметричной блок-схемы заключается в выполнении соотношения $m = p^r + 1$, где p — простое и r — натуральное числа.

В табл. 2 и 3 представлены симметричные блок-схемы при значениях $m = 2$ и $m = 3$ соответственно [12, 15, 16].

Теперь заменим в определении УБС блок на малую сеть, элемент — на абонента сети (процессор), вхождение элемента в блок — на дуплексное подсоединение абонента к малой сети и, наконец, блок-схему — на большую сеть. Тогда мы получим следующее определение большой сети — это сеть, к которой подсоединено N абонентов и которая состоит из M малых сетей, к каждой из которых подсоединено *точно* k разных абонентов, каждый абонент входит *точно* в m малых сетей и

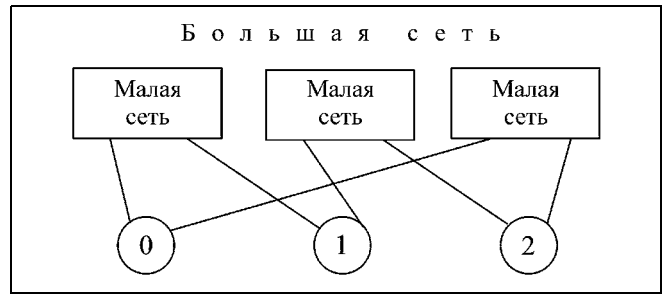


Рис. 2. Однородное распараллеливание большой сети или инвариантное расширение малой сети

каждый абонент соединяется с любым другим абонентом *точно* через одну малую сеть.

Из этого определения следует, что в большой сети любые два абонента соединены друг с другом точно также как в малой сети, что означает сохранение в большой сети таких базовых функциональных свойств малой сети, как способ маршрутизации и задержка передачи данных при одновременном увеличении числа объединяемых абонентов и, значит, пропускной способности.

Рассмотренный метод распараллеливания большой сети на ряд малых сетей можно также трактовать и как однородное расширение малой сети. Он имеет своим инвариантом способ маршрутизации и задержку передачи.

На рис. 2 показан способ распараллеливания большой сети или расширения малой сети согласно УБС из табл. 2.

Большая сеть, являющаяся *точным* аналогом блок-схемы, названа нами простейшей сетью (ПС). К сожалению, ПС имеют дискретные и небольшие размеры [12, 16, 17]. Их параметры представлены в табл. 4. Поэтому необходимо уметь представлять сеть любого

Таблица 2

Блок-схема с $m = k = 2$, $M = N = 3$

Блоки	Элементы	
0	0	2
1	1	0
2	2	1

Таблица 3

Блок-схема с $m = k = 3$, $M = N = 7$

Блоки	Элементы		
0	0	6	4
1	1	0	5
2	2	1	6
3	3	2	0
4	4	3	1
5	5	4	2
6	6	5	3

Таблица 4

Число абонентов N в различных блок-схемах или ПС

M	K										
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2	3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3	4	7									
4	5	9	13								
5	6	—	16	21							
6	7	13	—	25	31						
7	8	15		—	—						
8	9	—	25			49	57				
9	10	19	28			—	64	73			
10	11	21	—	41	—		—	81	91		
11	12	—		45				—	—		
12	13	25	37	—						121	133
13	14	27	40							—	—

размера через ПС. Наличие такого представления открывает возможность применения теории блок-схем для любых системных сетей.

3. РАЗЛОЖЕНИЕ НА ПРОСТЕЙШИЕ СЕТИ

Как видно из табл. 4 и формулы (1), простейшие сети, изоморфные УБС, имеют число абонентов N в диапазоне $2 \leqslant N \leqslant m(m-1)+1$ и достигают максимума по N в симметричных ПС при $m = k$. В системных сетях значение m задает степень разветвления входного/выходных каналов абонента (процессора) и, поэтому, не может быть очень большим (например, не должно выходить за рамки табл. 4). Для преодоления отмеченного ограничения на величину N в работах [15, 16] предложено использовать ПС в качестве строительных блоков, из которых составляется большая сеть общего вида заданного размера.

Пусть мы имеем M одинаковых малых сетей, каждая из которых объединяет K абонентов ($K > k$, где k — параметр УБС и ПС). Необходимо построить большую сеть, состоящую из M малых сетей, объединяющую $R > K$ абонентов и имеющую функциональные свойства малой сети.

Для этого разобьем каждую малую сеть на $\lfloor K/k \rfloor$ сверхмалых сетей и перенумеруем их в каждой малой сети в диапазоне $0 \leqslant j < \lceil K/k \rceil$. Объединим все j-е сверхмалые сети в j-ю ПС, а 0-я ПС должна иметь стандартную структуру. К j-й ПС подсоединим абонентов с номерами от jN до $N(j+1)-1$ так, чтобы они на одинаковых позициях имели номера на N больше, чем номера в $(j-1)$-й ПС.

Таким образом, мы получим большую сеть, состоящую из $\lceil K/k \rceil$ ПС, объединяющую R абонентов, где R находится в диапазоне: $N\lfloor K/k \rfloor \leqslant R \leqslant N\lceil K/k \rceil$. В табл. 5 показан этот процесс для $m = k = 3$, $M = N = 7$ и $K = 16$. Различные малые сети размещены по строкам таблицы, а различные ПС — в прямоугольных областях, выделенных различными шрифтами. Если $\lceil K/k \rceil \neq \lfloor K/k \rfloor$, то последняя $\lfloor K/k \rfloor$-я ПС — усеченная. Два разных способа построения усеченных ПС рассмотрены в работах [15, 16]. В результате проведенного однородного параллельного расширения системной сети число абонентов в ней увеличилось от $K = 16$ до $R = 36$ (см. табл. 5).

Полученная в результате построения большая сеть общего вида является неуравновешенной плоской сетью, набранной из малых сетей. Для нее справедлива следующая теорема.

Таблица 1. *Большая сеть общего вида представляет собой плоскую сеть малых сетей, в которой между любыми двумя абонентами существует хотя бы один путь, проходящий через некоторую исходную сеть. Таких путей может быть несколько (в отличие от расширенных ПС). Все они проходят через разные исходные сети.*

Доказательство. Каждую ПС составляют абоненты, номера которых образуют кольцо вычетов по mod N. Между абонентами любой ПС, номера которых имеют разные вычеты, существуют пути только через те исходные сети, что и в 0-й ПС. Между абонентами разных ПС, номера которых имеют разные вычеты, существуют пути только через те исходные сети, что и в отдельной ПС. Между абонентами разных ПС, номера которых имеют одинаковые вычеты, существует m разных путей, которые проходят через разные исходные сети. Это следует из того факта, что указанные абоненты подсоединены к одним и тем же исходным сетям. ◆

По проведенному построению в большой сети каждый абонент соединяется с любым другим абонентом не менее чем через одну малую сеть. Это обеспечивает сохранение (не ухудшение) в большой сети функциональных свойств малой сети.

4. МЕТОД ИНВАРИАНТНОГО РАСШИРЕНИЯ СИСТЕМНЫХ СЕТЕЙ

Данный метод можно применять при построении системных сетей как сверху вниз, так и снизу вверх. В первом случае его можно называть методом однородного распараллеливания большой сети, а во втором — методом однородного расширения малой сети. Во втором случае можно указать инвариант расширения — способ маршрутизации и его характеристики (конфликтность, пропускную способность, задержки передачи и т. п.). Здесь используется, в основном, второй подход.

Пусть имеется некоторая системная сеть S_K, объединяющая K абонентов (процессоров). Необходимо построить расширенную системную сеть S_R, объединяющую $R > K$ абонентов.

Таблица 5

Большая сеть с $m = k = 3$, $M = N = 7$ и $K = 16$, $R = 36$

Номер малой сети	Большая сеть															
	ПС															
	0-я			1-я			2-я			3-я			4-я			5-я
0	**0**	**6**	**4**	7	12	8	**14**	**20**	**18**	21	27	25	**28**	**34**	**32**	35
1	**1**	**0**	**5**	8	13	9	**15**	**14**	**19**	22	21	26	**29**	**28**	**33**	35
2	**2**	**1**	**6**	9	7	10	**16**	**15**	**20**	23	22	27	**30**	**29**	**34**	—
3	**3**	**2**	**0**	10	8	11	**17**	**16**	**14**	24	23	21	**31**	**30**	**28**	35
4	**4**	**3**	**1**	11	9	12	**18**	**17**	**15**	25	24	22	**32**	**31**	**29**	—
5	**5**	**4**	**2**	12	10	13	**19**	**18**	**16**	26	25	23	**33**	**32**	**30**	
6	**6**	**5**	**3**	13	11	7	**20**	**19**	**17**	27	26	24	**34**	**33**	**31**	

Пусть дуплексное подсоединение каждого абонента к сети S_R осуществляется через разветвитель входа/выхода на m каналов B_m. Роль такого разветвителя могут выполнять m сетевых карт на одной шине ввода/вывода (PCI для персональных компьютеров), или m-портовая сетевая карта, или, в общем случае, — отдельные схемы, объединенные в специальную СБИС с перестраиваемой степенью ветвления m. Разветвитель B_m должен выполнять две функции. На выходе из абонента — функцию направления кадра в необходимую малую сеть. При этом разветвитель может сам выбирать малую сеть (маршрутная адресация), а может передавать эту функцию малым сетям (сетевая адресация). На входе в абонент разветвитель должен выполнять функцию множественного доступа в общий канал, т. е. выбирать один из многих каналов для передачи кадра. Схемы, выполняющие такую функцию, могут иметь минимальную глубину (например, два логических элемента [18]).

Построим сеть S_R как большую сеть из M параллельно включенных малых сетей S_K с разбиением последних на $\lceil K/k \rceil$ простейших сетей ширины k, объединяющих согласно формуле (1) $N = m(k - 1) + 1$ абонентов. Разбиение на простейшие сети, описанное в § 3, задает и схему подсоединения абонентов к сетям S_K. Теория блок-схем утверждает, что максимум $N = M$ и минимум M достигается при $k = m$. Выбирая это значение k, мы получаем, что расширенная сеть S_R объединяет R абонентов, где $\lfloor K/m \rfloor (m(m - 1) + 1) \leqslant R \leqslant \lceil K/m \rceil (m(m - 1) + 1)$. Если m является делителем K, то коэффициент расширения α системной сети задается выражением $\alpha = R/K = (m(m - 1) + 1)/m$. При расширении сети происходит ее усложнение, которое можно задавать коэффициентом $\beta = m(m - 1) + 1$. В табл. 6 представлены значения этих коэффициентов для ряда малых значений $m = k$.

Из построения видно, что задержки в расширенной сети S_R больше задержек в исходной сети S_K на размер задержек в разветвителе каналов B_m. Поэтому утверждение об инвариантности по задержкам справедливо лишь с указанной точностью. Однако эта точность может быть достаточно велика, так как схема разветвителя является чисто комбинационной и может быть сделана очень малой глубины, задержки на которой будут много меньше, чем в исходной сети.

Рассматриваемый метод допускает и итеративное многошаговое применение, при котором в качестве исходной сети берется расширенная на предыдущем шаге сеть. Однако применение итеративного расширения ограничивается более быстрым ростом числа исходных сетей на каждом шаге по сравнению с ростом числа абонентов (см. табл. 6). Поэтому его можно рекомендовать только для тех случаев, когда необходимое расширение не может быть получено за один шаг.

В работах [15, 16] рассмотрено применение рассматриваемого метода для таких системных сетей, как коммутируемые локальные сети [15] и однокаскадные коммутаторы [16]. Рассмотрим применение данного метода для некоммутируемых мультиколец (см. § 1).

Рассмотрим исходную сеть, состоящую из пары встречных колец с K узлами (процессорами). При передаче кадров в кольцо с кратчайшим маршрутом эта сеть имеет емкость $c = 8$. Для расширения исходной сети будем использовать в каждом процессоре разветвитель каналов B_m. Пусть m является делителем K. Расширенная сеть содержит $M = N = m(m - 1) + 1$ исходных сетей, объединяет $R = KN/m$ процессоров и имеет емкость $C = cM = 8Rm/K$. Последовательность подсоединения процессоров к парам колец задается процедурой разбиения M исходных сетей на простейшие сети (см. § 3).

Здесь построено другое мультикольцо, чем описанное в § 1, — с большим числом колец меньшего размера и с большей емкостью. В нем все кольца имеют переменный шаг между узлами и одинаковую структуру колец. Однако это мультикольцо удалось исследовать сразу аналитически. В частности, при $K = 16$ и $m = 2$ имеем $M = 3$ (число колец 6), $R = 24$ и $C = R$; при $K = 16$ и $m = 4$ — $M = 13$ (число колец 26); $R = 52$ и $C = 2R$; при $K = 15$ и $m = 5$ — $M = 21$ (число колец 42), $R = 63$ и $C = 8R/3$.

Для дальнейшего увеличения числа процессоров и емкости сети в качестве исходной сети можно брать мультикольцо из табл. 1. В этом случае $c = K$ и $C = Rm$. В частности, если исходная сеть содержит $K = 64$ процессора и состоит из 8 колец, то при $m = 2$ — $M = 3$ (24 кольца), $R = 96$ и $C = 2R$; а при $m = 4$ — $M = 13$ (104 кольца), $R = 208$ и $C = 4R$.

5. ВОЗМОЖНОСТИ ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ

Рассмотренный метод может иметь очень широкое применение — буквально на каждом уровне иерархии системной сети. Рассмотрим два крайних случая — уровень коммутационных СБИС и уровень всей сети.

На рис. 3 показана схема построения новой более широкой СБИС из трех старых СБИС согласно УБС из табл. 2. Здесь роль малой сети выполняет старая СБИС, большой сети — новая СБИС, а абонентов — контакты B/B. В схеме используются разветвители каналов B_2 и показаны каждые два контакта старой СБИС и каждые три контакта новой СБИС. Новая СБИС будет иметь в 1,5 раза большее число контактов, чем старая СБИС. Если использовать 7 старых СБИС, то число контактов увеличится в 2,3 раза, и т. д. по табл. 6.

Аналогично для полной системной сети. Возьмем, например, самую мощную параллельную вычислительную систему Blue Gene фирмы IBM, содержащую 131

Таблица 6

Коэффициенты расширения и усложнения системной сети

m	2	3	4	5	6	8	9	10	12	14	17	18
β	3	7	13	21	31	55	83	91	133	183	273	307
α	1,5	2,33	3,25	4,2	5,17	7,125	8,11	9,1	11,08	13,07	16,06	17,06

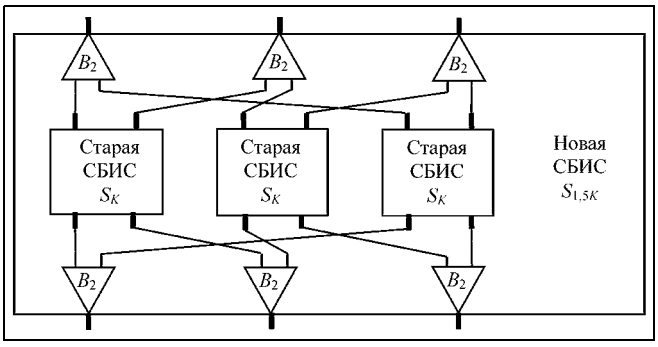


Рис. 3. Инвариантное увеличение числа контактов СБИС-коммутатора

тыс. процессоров. Ее системная сеть — это трехмерный тор (куб со сшитыми краями). Заменим однопортовую сетевую карту в каждом процессоре на двухпортовую. Тогда чисто механически по схеме (см. рис. 2), используя три системных сети, можно увеличить число процессоров до 195 тыс. Если использовать трехпортовую сетевую карту и семь системных сетей, то можно увеличить число процессоров до 306 тыс., и т. д. по табл. 6. Предел здесь ставит соотношение сложности процессорной и сетевой подсистем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Простота и универсальность рассмотренного метода расширения системных сетей и наличие разработанной математической теории делают данный метод очень привлекательным для дальнейших исследований. Наиболее привлекательным направлением исследований может стать разработка метода построения отказоустойчивых системных сетей [19].

Дело в том, что общее определение блок-схемы [12] содержит еще один параметр $\sigma \geqslant 1$ — число блоков, в которые входит каждая пара элементов. При этом блок-схема задается набором блоков, в которых каждая пара элементов входит *точно* в σ блоков. Тогда большой сетью является та сеть, к которой подсоединено N абонентов и которая состоит из M малых сетей, к каждой из которых подсоединено *точно* k разных абонентов, каждый абонент входит *точно* в m малых сетей и каждый абонент соединяется с любым другим абонентом *не менее* чем через σ малых сетей. При таком определении большая сеть является устойчивой к отказу $(\sigma - 1)$ малых сетей. Поэтому теория блок-схем может служить математической основой для построения отказоустойчивых системных сетей.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Медведев И. Л., Прангишвили И. В. Чудин А. А.* Многопроцессорные вычислительные системы с перестраиваемой структурой. — М.: Ин-т пробл. управления. — 1975. — 87 с.
2. *Прангишвили И. В., Подлазов В. С., Стецюра Г. Г.* Локальные микропроцессорные вычислительные сети. — М.: Наука, 1984. — 176 с.
3. *Алленов А. В., Подлазов В. С., Стецюра Г. Г.* Пропускная способность набора кольцевых каналов. I. Класс наборов колец. Наборы с простыми узлами // Автоматика и телемеханика. — 1996. — № 3. — С. 135—144.
4. *Алленов А. В., Подлазов В. С.* Пропускная способность набора кольцевых каналов II. Кольцевые коммутаторы // Там же. — № 4. — С. 162—172.
5. *Подлазов В. С., Подлазова А. В.* Обеспечение наращиваемости отказоустойчивых многопроцессорных систем с общей памятью с использованием многокольцевых некоммутируемых сетей связи с неоднородными узлами // Тр. Ин-та пробл. упр. РАН. — 2002. — Т. XVIII. — С. 164—181.
6. *Подлазов В. С.* Наращиваемые многокольцевые некоммутируемые сети связи для многопроцессорных вычислительных систем // Проблемы управления. — 2006. — № 2. — С. 50—57.
7. *Подлазов В. С.* Бесконфликтная статическая децентрализованная маршрутизация для кольцевых коммутаторов и гиперкубов // Автоматика и телемеханика. — 1999. — № 4. — С. 79—89.
8. *Подлазов В. С.* Неблокируемые кольцевые коммутаторы: Резервирование и быстродействие // Там же. — № 10. — С. 153—163.
9. *Подлазов В. С.* Условия неблокируемости мультикольцевых коммутаторов и обобщенных гиперкубов на произвольных перестановках. I. Межузловая коммутация. Мультикольца // Там же. — 2001. — № 8. — С. 118—126.
10. *Подлазов В. С.* Условия неблокируемости мультикольцевых коммутаторов и обобщенных гиперкубов на произвольных перестановках. II. Обобщенные гиперкубы. Внутриузловая коммутация // Там же. — № 9. — С. 114—124.
11. *Подлазов В. С.* Неблокируемость произвольной перестановки на коммутаторе со структурой многомерной решетки // Там же. — 2002. — № 8. — С. 178—188.
12. *Холл М.* Комбинаторика. — М.: Мир, 1970. — 424 с.
13. *Rzymianowicz L.* Designing efficient network interfaces for system area networks < http://bibserv7.bib.uni-mannheim.de/madoc/volltexte/2002/54/pdf/54_1.pdf>.
14. *Уваров С. И., Чернышев М. А.* О предельном быстродействии кольцевых устройств обмена информацией для параллельных вычислительных систем // Автоматика и телемеханика. — 1986. — № 10. — С. 151—156.
15. *Подлазов В. С., Стецюра Г. Г.* Регулярные плоские сети для суперкомпьютеров // Проблемы управления. — 2006. — № 1. — С. 26—31.
16. *Подлазов В. С., Соколов В. В.* Однокаскадные коммутаторы большой размерности для многопроцессорных и многомашинных вычислительных систем // Там же. — № 6. — С. 19—24.
17. *Finn A. M., Decker R. O.* A network architecture for radar signal processing // AIAA/IEEE 8-th digital avionic systems conference / San Jose. Calif. Oct., 1988. — P. 614—621.
18. *Prangishvili I. V., Stetsyura G. G. Podlazov V. S.* Decentralized control of processor interactions in concentrated and distributed multimicroprocessor system // Microprocessing and Microprogramming. — 1987. — N 7. — P. 220—228.
19. *Каравай М. Ф.* Инвариантно-групповой подход к исследованию k-устойчивых структур // Автоматика и телемеханика. — 2000. — № 1. — С. 144—156.

☎ *(495) 334-78-31*

e-mail: podlazov@ipu.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии В. Д. Малюгиным. ❑

УДК 519.21

МЕТОДЫ ИНТЕРПОЛЯЦИИ В ТЕХНИЧЕСКОМ ДИАГНОСТИРОВАНИИ[1]

В. А. Твердохлебов

Институт проблем точной механики и управления РАН, г. Саратов

Рассмотрены основные положения технического диагностирования больших и сложных систем. Изложен метод построения диагностических моделей с использованием интерполяции на базе частичной диагностической информации. Ограничение на применение моделей неисправностей и возможности средств диагностирования определяются свойствами сложных объектов диагностирования оказываться недоступными для полного и точного их описания.

ВВЕДЕНИЕ

Техническое диагностирование систем, которые характеризуются как большие или сложные системы, осуществляется в условиях ограничений на математические модели и средства диагностирования. Из результатов исследований по постановкам и решениям задач технического диагностирования таких систем следует актуальность принципиального изменения теоретических положений, представленных, например, в основополагающих работах Э. Мура [1] (полное решение установочной задачи для автомата), А. Гилла [2] (сведение диагностирования к установочной задаче), в двухтомной монографии под редакцией П. П. Пархоменко [3] (систематизация задач и методов технического диагностирования интуитивно обозримых и формально представимых объектов). Развитие теории технического диагностирования до настоящего времени, несмотря на переход от абстрактных моделей к структурным, еще не вышло на включение в область приложений теории больших и сложных объектов. Относительный характер понимания терминов *сложная* и *большая* система не рассматривается как предмет обсуждения, а непосредственно конкретизируется по некоторым выбранным их свойствам, определяющим исследуемый класс задач технического диагностирования. К ним относятся следующие свойства (положения).

1. Объект диагностирования не допускает достаточно полного и точного интуитивного обозрения и формального представления традиционными средствами: таблицами, графами, логическими уравнениями.

2. Возможности средств диагностирования в каждом используемом интервале времени ограничены наблюдением только части структуры объекта и наблюдением только некоторых функций объекта.

Совмещение ограничений, указанных в п. 1 и 2, усложняет постановки и методы решения задач диагностирования.

3. Анализ работоспособности и локализация дефектов могут потребоваться на интервале времени, как угодно удаленном от начала функционирования объекта.

4. К традиционным вопросам технического диагностирования — обнаружение наличия дефекта и его локализация по месту или функциональному влиянию — добавляется поиск цепочек причинно-следственных связей, заканчивающихся появлением дефекта.

5. Техническое диагностирование выделяемых для рассмотрения объектов не может быть осуществлено однородными средствами диагностирования. Только совмещение тестирования, измерения физических параметров, анализа процессов «решения» объектами диагностических задач, визуального осмотра, сигнализации и других средств должно образовывать средства диагностирования.

Положение 1 исключает достаточность применения аппарата только символьной математики с ее комбинаторно-логическими идеями, перечислительным и явным табличным, матричным, графовым конструктивизмом.

Положение 2 отражает свойства объектов диагностирования как материальных тел (непрерывное изменение неограниченного множества параметров и характеристик) и представляет собой реальные ограничения процедур диагностирования по показателям времени, ресурсов, возможностей аппаратуры и т. п.

В положении 3 исключается рекурсия как основа построения моделей как конкретных вариантов функционирования, так и явного представления законов функционирования. Например, наличие в объекте диагностирования регистра, счетчика или эквивалентных устройств на 128 двоичных разрядов при заполнении устройств вариантами заполнений со скоростью 1 млн. ва-

[1] Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант № 05-08-49999.

риантов/с для перебора всех вариантов потребуется 2^{82} лет. Никакой рекурсивный процесс анализа и синтеза не будет эффективным для такого (очень простого, с практической точки зрения) формирования памяти объекта диагностирования. Заметим, что практическое использование из 2^{128} вариантов представления памяти только некоторого числа вариантов не снимает границ эффективности рекурсии, так как неисправности включают в функционирование даже не предусмотренные разработчиками ситуации.

Положение 4 фактически связано рассмотрением в процессах функционирования для каждого такта поведения системы на некоторых представляющих интервалах времени, т. е. не предполагается, что предыдущее функционирование достаточно полно и точно выражается в сформировавшемся следующем состоянии (памяти) модели.

Положение 5 является следствием представлений об объекте диагностирования как о системе, в которой взаимосвязаны и взаимодействуют процессы различной природы: физические, электронные, информационные, механические, процессы с участием человека и т. д. Требующееся разнообразие диагностических средств необходимо для получения диагностической информации и повышения эффективности технического диагностирования (например, в некоторых случаях лаборант с ванной для измерения объема тел работает эффективнее, чем группа математиков-вычислителей, решающих задачу определения объема тел математическими методами).

Результаты исследований, начиная с работ [4, 5] и продолженные, например, работами [6—11], показывают, что принципиальное изменение формы задания модели (задание законов функционирования и конкретных вариантов функционирования автоматов геометрическими фигурами), замена символьной рекурсии вычислительными (числовыми) процедурами (на основе изоморфного вложения словарных геометрических образов автоматов в числовые геометрии), применение как основных методов интерполяции и экстраполяции позволяют получать решения задач из указанного класса задач, по крайней мере, в частных случаях.

Определяющие и разрабатываемые идеи следующие:

— представление законов функционирования и конкретных вариантов функционирования автоматов соответственно геометрическими фигурами на основе интерполяции координат точек;

— применение математического аппарата интерполяции и экстраполяции для удовлетворения условий и ограничений, определяемых положениями 1—4;

— использование (почти очевидное) приведения разнородных средств технического диагностирования (тестирование, измерение физических параметров, решение диагностических задач, визуальный осмотр и сигнализация) к единой форме: связи входных и выходных сигналов автомата (см. работу [12]).

Исследование класса выделенных задач технического диагностирования не только не завершено, но и в принципе не может быть окончательным в связи с объемом класса, сложностью задач, необходимостью выделения из класса подклассов задач. Этим объясняется актуальность данной публикации.

1. ГЕОМЕТРИЧЕСКИЕ ОБРАЗЫ КОНЕЧНЫХ ДЕТЕРМИНИРОВАННЫХ АВТОМАТОВ

Поведение инициального конечного детерминированного автомата $A = (S, X, Y, \delta, \lambda, s)$, где S, X, Y — конечные непустые множества состояний, входных и выходных сигналов, а δ: $S \times X \to S$ и λ: $S \times X \to Y$ — функции переходов и выходов, определяется как отображение $\rho_s = \bigcup_{p \in X^*} \{(p, \lambda(s, p))\}$, где X^* — множество всех конечных слов в алфавите X.

В задании отображения ρ_s отсутствует упорядочение, которое можно ввести на основании выбора линейного порядка ω_1 на множестве X^* первых элементов пар. Определим линейный порядок ω_1.

Правило 1. На множестве X вводим некоторый линейный порядок (который будем обозначать $\prec_1$): $x_1 \prec_1 x_2 \prec_1 \ldots \prec_1 x_k \prec_1 \ldots$

Правило 2. Порядок ω_1 на множестве X распространим до линейного порядка на множестве X^*, полагая, что:

— для любых слов $p_1, p_2 \in X^*$ не одинаковой длины $|p_1| < |p_2| \to p_1 \prec_1 p_2$;

— для любых слов $p_1, p_2 \in X^*$, для которых $p_1 \neq p_2$ и $|p_1| = |p_2|$, их отношение по порядку ω_1 повторяет отношение ближайших слева несовпадающих букв слов p_1 и p_2.

Аналогично определяется порядок ω_2 на множестве слов Y^*.

Для изображения (представления) связей между упорядоченными множествами (X^*, ω_1) и (Y, ω_2) выберем прямоугольную систему координат с осью абсцисс (X^*, ω_1) и осью ординат (Y, ω_2). Тогда поведение инициального автомата (A, s) изображается как ломаная линия с вершинами, являющимися парами из ρ_s (рис. 1).

Геометрический образ γ_s определяет законы функционирования автомата (A, s). Конкретное функционирование автомата, соответствующее приложению к автомату входной последовательности $p = x_{i_1} x_{i_2} \ldots x_{i_k}$, представлено сечением геометрического образа по точкам с первыми координатами x_{i_1}, $x_{i_1} x_{i_2}$, ..., $x_{i_1} x_{i_2} \ldots x_{i_k}$ (рис. 2).

Интерполяция ломаной линии z, представленной в системе координат (X^*, ω_1) и (Y, ω_2) без пропусков связей вершин линии с элементами множества X^* и взаим-

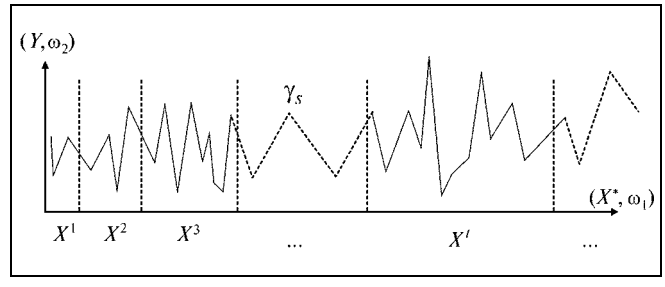


Рис. 1. Геометрический образ γ_s как изображение автоматного отображения ρ_s с использованием порядков ω_1 и ω_2; X^i — конкатенация i-й степени множества X

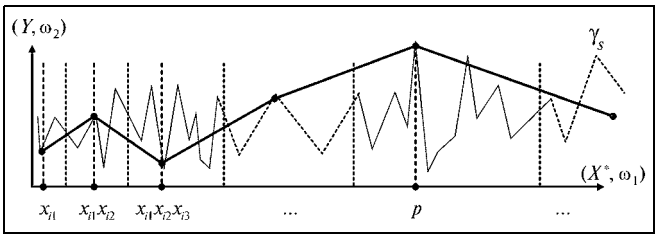


Рис. 2. Геометрический образ конкретного функционирования автомата как сечение геометрического образа γ_s по точкам, первые координаты которых являются префиксами, прикладываемой входной последовательности

неоднозначностью таких связей, позволяет по ломаной линии определять функцию переходов δ и функцию выходов λ автомата вида $A = (S, X, Y, \delta, \lambda)$ с бесконечным множеством состояний $S = \{s_p\}_{p \in X^*}$.

Определение 1. Ломаную линию z в прямоугольной системе координат с осью абсцисс (X^*, ω_1) и осью ординат (Y, ω_2) будем называть автоматной линией, если множество вершин U_z линии z удовлетворяет условиям:

- $U_z \subset X^* \times Y$;
- для каждого элемента $p \in X^*$ $(p \neq \varepsilon)$ существует единственный элемент $y \in Y$, для которого $(p, y) \in U_z$.

Определение 2. Пусть $A = (S, X, Y, \delta, \lambda)$ — детерминированный автомат с конечным или бесконечным множеством состояний S и конечными множествами входных сигналов X и выходных сигналов Y. Тогда:

- для каждого $s \in S$ множество $S(s) = \{s_p\}_{p \in X^*}$, определяемое правилом $s_\varepsilon = s$ и для любого $p \in X^*$ $(p \neq \varepsilon)$ $s_p = \delta(s, p)$, будем называть множеством состояний, ассоциированных с инициальным автоматом (A, s);
- инициальный автомат $(F_s(A), s)$ будем называть геометрическим представлением автомата (A, s), если $F_s(A) = (S(s), X, Y, \delta_F, \lambda_F)$, где для любых $x \in X$ и $p \in X^*$ $\delta_F(s_p, x) = s_{px}$ и $\lambda_F(s_p, x) = \lambda(\delta(s, p), x)$.

Теорема 1. *Любая автоматная линия в системе координат с осью абсцисс (X^*, ω_1) и осью ординат (Y, ω_2) однозначно определяет геометрического представителя $F_s(A) = (S(s), X, Y, \delta_F, \lambda_F)$ некоторого инициального автомата вида (A, s), где $A = (S, X, Y, \delta, \lambda)$.*

Доказательство. Покажем, что автоматная линия z однозначно определяет функции δ_F: $S(s) \times X \to S(s)$ и λ_F: $S(s) \times X \to Y$. Вершины (x_1, y_{j_1}), (x_2, y_{j_2}), ..., (x_m, y_{j_m}) автоматной линии z определяют функции δ_F и λ_F на парах (s_ε, x_1),(s_ε, x_2), ..., (s_ε, x_m) по правилам: $\delta_F(s_\varepsilon, x_i) = s_{x_i}$, $\lambda_F(s_\varepsilon, x_i) = y_{j_i}$, $1 \leqslant i \leqslant m$. Для любых $p \in X^*$ и $x \in X$ $\delta_F(s_p, x) = s_{px}$ по определению функции δ_F. По свойству автоматной линии z только одна точка линии имеет координаты (px, y) при некотором $y \in Y$. Тогда $\lambda_F(s_p, x) = y$, т. е. линией z функции δ_F и λ_F определены однозначно и на всем множестве X^*. ◆

По положению 2 для любого фиксированного интервала (t_1, t_2) диагностирования в реальном времени возможно наблюдение только в части $\gamma_s(t_1, t_2; k_1, k_2)$ образа γ_s. Эта часть определяется значением t_1 реального времени, прошедшего от начала функционирования объекта диагностирования, и номером k_1 такта функционирования, с которого предполагается диагностирование. Размеры интервала (t_1, t_2) задают число тактов функционирования объекта диагностирования, которое можно использовать для диагностирования. Числа $a(t_1, k_1)$ и $b(t_2, k_2)$ являются номерами входных последовательностей соответственно с которой можно начать диагностические процедуры, и после которой диагностирование исключается (рис. 3).

Таким образом, интервалом (t_1, t_2) реального времени выделяется множество W последовательностей входных сигналов, где $W = \{p: p \in X^* \ \& \ a(t_1, k_1) \leqslant r(p) < b(t_2, k_2)\}$, продолжение которых можно использовать при техническом диагностировании. Возможные наблюдаемые реализации на такие диагностические процедуры представлены отдельными точками части $\gamma_s(t_1, t_2; k_1, k_2)$ геометрического образа γ_s.

Частью $\gamma_s(t_1, t_2; k_1, k_2)$ определяется множество возможных вариантов функционирования, из которого при каждом конкретном варианте $p = p'x_{i_1} x_{i_2} \ldots x_{i_\omega}$ наблюдаются только связи $(p'x_{i_1}, Y_{j_1})$, $(p'x_1 x_{i_2}, Y_{j_2})$, ..., $(p'x_{i_1} x_{i_2} \ldots x_{i_\omega}, Y_{j_\omega})$ (рис. 3).

Проведенные рассуждения позволяют сделать вывод о том, что математический формализм в определении функционирования объектов диагностирования, ограниченных положениями 1 и 2, представляет процесс получения диагностической информации как конечное множество точек геометрического образа γ_s. Эти точки извлечены из частей вида $\gamma_s(t_1, t_2; k_1, k_2)$ образа γ_s и определяют диагностическую информацию как промежуточную, так и заключительную для логических выводов. Из принимаемого положения 3 следует, что свободный выбор интервала времени для получения диагностической информации требует, чтобы известные и подтверждаемые в процессе диагностирования отдельные точки геометрического образа были явно представлены математической моделью объекта диагностирования на любом (достаточно большом) интервале абстрактной оси времени. Ось абсцисс (X^*, ω_1) преобразуется в ось абстрактного времени на основе замены элементов множества X^* их номерами по линейному порядку ω_1. Для этого используются следующие теоремы 2—4.

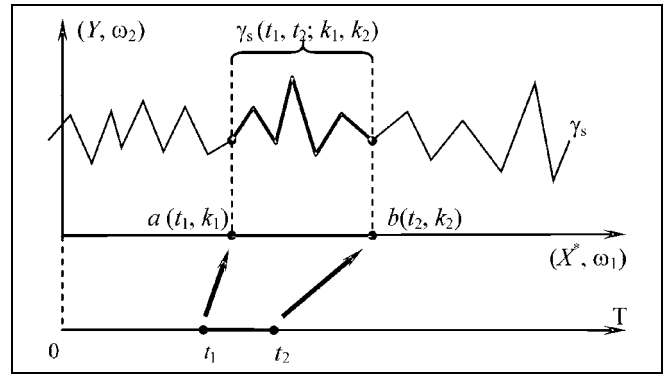


Рис. 3. Схема связи интервалов (t_1, t_2) и (k_1, k_2) с частью $\gamma_s(t_1, t_2; k_1, k_2)$ геометрического образа γ_s

Теорема 2. *Пусть* $p \in X^*$ и $p = x_{i_1} x_{i_2} \ldots x_{i_k}$, *где* $k \in N^+$. *Тогда номер* $r(p)$ *слова* p *по порядку* ω_1 *определяется равенством*

$$r(p) = \sum_{j=1}^{k} r(x_{i_j})|X|^{j-1} - 1. \blacklozenge$$

Теорема 3. *Пусть* $p \in X^*$ *и* $x \in X$. *Тогда разность номеров по порядку* ω_1 $r_1(px) - r_1(p)$ *определяется по формуле*

$$r_1(px) - r_1(p) = (|X| - 1)\, r_1(p) + r_1(x). \blacklozenge$$

Теорема 4. *Пусть* γ_{s_0} — *геометрический образ в геометрии* Γ_1 *некоторого инициального конечного детерминированного автомата* (A, s_0) *с множеством входных сигналов* X', $p \in X^*$ $(p \neq \varepsilon)$ *и* $s = \delta(s_0, p)$. *Тогда образ* γ_s *инициального автомата* (A, s) *образован точками, первые координаты которых имеют номера* r, *определяемые неравенствами*

$$\sum_{j=0}^{\upsilon} |X|^j + r_1(p)|X|^{\upsilon} \leqslant r \leqslant \sum_{j=0}^{\upsilon-1} |X|^j + (r_1(p) + 1)|X|^{\upsilon} - 1. \blacklozenge$$

Доказательства теорем см., например, в работе [6].

Основной задачей, решение которой удовлетворяет положению 3, является разработка идеи и основанного на ней метода размещения некоторых точек геометрического образа γ_s на всей неограниченной оси времени. Для этого разработаны три подхода:

- применение принципа: у любого конечного детерминированного автомата имеются такие его подавтоматы, с помощью которых на любом, как угодно удаленном, интервале времени достаточно просто определяются некоторые точки геометрического образа;
- замена функциональной связи от оси (X^*, ω_1) к оси (Y, ω_2) связью только между упорядоченными значениями функции, т. е. рассмотрением рекуррентной зависимости в последовательности вторых координат точек геометрического образа γ_s;
- изоморфное вложение словарного геометрического образа γ_s в главный квадрант декартовой системы координат на евклидовой плоскости на основании числовых номеров элементов множеств X^* и Y (соответственно по порядкам ω_1 и ω_2) и использование развитого математического аппарата интерполяции и экстраполяции.

2. ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИЕ АВТОНОМНЫЕ ПОДАВТОМАТЫ ИНИЦИАЛЬНЫХ АВТОМАТОВ

Рассмотрим инициальный конечный детерминированный автомат (A, s), где $A = (S, X, Y, \delta, \lambda)$, и бесконечное семейство ассоциированных с ним инициальных автономных подавтоматов $\alpha = \{a_p\}_{p \in X^*}$, определяемых правилом $a_p = (S, \{p\}, Y, \delta_p, \lambda_p)$, где для любого $s \in S$ $\delta_p(s, p) = \delta(s, p)$ и $\lambda_p(s, p) = y$, где y — последняя буква выходного слова $\lambda(s, p)$.

Предлагаемые интерполяция и экстраполяция разработаны на основе теоремы 23 из работы [13]. Ее аналогом для случая инициальных автономных подавтоматов заданного автомата является

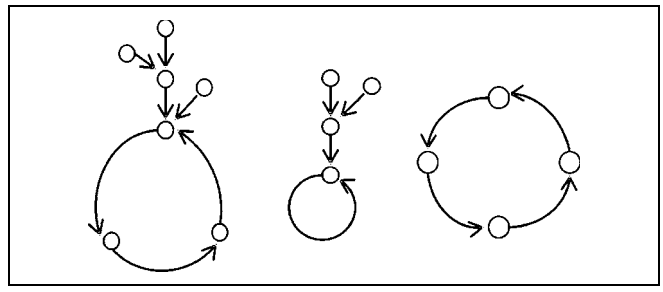


Рис. 4. Пример структуры диаграммы Мура автомата вида $a = (S, \{p\}, Y, \delta_a, \lambda_a)$

Теорема 5. *Пусть* $A = (S, X, Y, \delta, \lambda)$ — *конечный детерминированный автомат и* $p \in X^*$. *Тогда диаграмма Мура автономного автомата* $a_p = (S, \{p\}, Y, \delta_p, \lambda_p)$, *где для любого* $s \in S$ $\delta_p(s, p) = \delta(s, p)$, $\lambda_p(s, p)$ — *последняя буква выходного слова* $\lambda(s, p)$, *имеет следующую структуру:*

— *диаграмма состоит из конечного множества изолированных связных графов;*

— *каждый граф имеет точно один цикл или петлю;*

— *вершины цикла (или вершина петли) могут быть корнями деревьев.* ◆

Диаграмма Мура инициального автономного автомата имеет точно одну компоненту связности (рис. 4).

Теорема 5 позволяет использовать специфическую структуру автономных подавтоматов типа a_p для достаточно простого и без рекурсивных вычислений размещения пар вида (p^v, y_{jv}), где v — целое положительное число, на всей оси абстрактного времени. На рис. 5 показано размещение точек геометрического образа, определяемых циклами в диаграммах Мура для автономных подавтоматов.

Точкам $p^1, p^2, \ldots, p^k, \ldots$, где $p \in X^*$, начиная с некоторого числа k_0, соответствуют только обходы цикла в диаграмме Мура инициального автономного подавтомата $a_p = (S, \{p\}, Y, \delta_p, \lambda_p, s_0)$. Для любого числа $n \in N$ бесконечное множество точек геометрического образа того автомата, подавтоматом которого является a_p, определяемых циклами диаграммы Мура для подавтомата a_p,

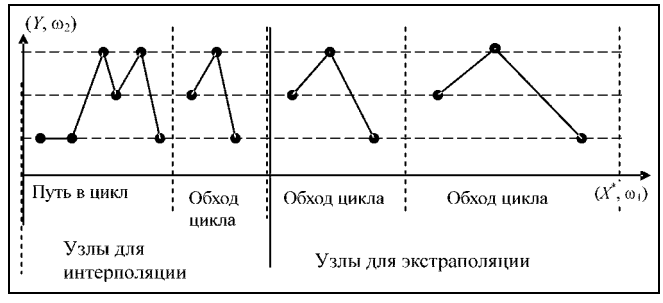


Рис. 5. Схема размещения узлов интерполяции, определяемых циклами в диаграммах Мура для инициальных автономных подавтоматов

Множество точек геометрического образа γ_s, первыми координатами которых являются элементы последовательности p^{k_0}, p^{k_0+1}, ..., может использоваться как множество интерполяционных узлов для методов приближенного представления законов функционирования автоматов.

3. МЕТОДЫ ИНТЕРПОЛЯЦИИ И ЭКСТРАПОЛЯЦИИ ЗАКОНОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБЪЕКТОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Конструктивизм аппарата символьной математики, представленный табличными, матричными и графовыми средствами задания автоматов, ограничен для практического применения. Основными препятствиями оказываются большие размеры математических описаний и нереализуемость их рекурсивной расшифровки. Для других, недиагностических, целей в математике разработаны методы интерполяции и экстраполяции, позволяющие по неполным данным определять математические структуры. Основные задачи заключаются в выборе узлов интерполирования и построении интерполяционных функций. Перевод словарных координат (p, y) точек геометрического образа γ_s в целочисленные координаты $(r_1(p), r_2(y))$, где $r_1(p)$ и $r_2(y)$ номера $p \in X^*$ и $y \in Y$ соответственно по порядкам ω_1 и ω_2, позволяет применять интерполяцию и экстраполяцию для диагностических моделей в полном объеме. Если выбор узлов интерполяции свести к построению диаграмм Мура для инициальных автономных подавтоматов типа a_p, где $p \in X^*$, и использованию циклов соответствующих компонент связности диаграмм, то одной из основных задач становится выбор семейства подавтоматов $\{a_u\}_{u \in U}$, где $U \subset X^*$. Вторая основополагающая задача — это выбор и разработка интерполяционных функций. Здесь первичными решениями могут быть классические методы интерполяции.

Новой задачей оказывается интерполирование на всей оси (X^*, ω_1), точнее, оси номеров входных последовательностей, при условии, что «расстояние» между узлами обхода цикла увеличивается (см. рис. 5). Интерполирование при техническом диагностировании больших и сложных систем необходимо как для расширения модели на интервалы неопределенных связей входных и выходных сигналов объекта диагностирования, так и для замены попыток точно описать объект приближенной моделью.

4. ИНТЕРПОЛЯЦИЯ НА ОСНОВЕ РЕКУРРЕНТНЫХ ФОРМ

Как уже отмечалось, связь элементов упорядоченного множества (X^*, ω_1) с элементами множества Y может быть заменена связью элементов в последовательности вторых координат точек геометрического образа γ_s. В этом случае для начальной части любой конечной длины из геометрического образа существует рекуррентная форма конечного порядка, определяющая эту начальную часть образа. При зафиксированном порядке рекуррентной формы определяемая формой последовательность состоит из начальной части конечной длины и бесконечной периодической части.

Пусть $u = y_{i_1}, y_{i_2}, ..., y_{i_t}, ...$ последовательность вторых координат точек геометрического образа γ_s и $F(z_1, z_2, ..., z_m) = z_{m+1}$ — рекуррентная форма порядка m для последовательности u, т. е. для любого $k \geqslant m$ для последовательности u выполняется равенство

$$y_{j_{k+1}} = F(y_{j_{k-m+1}}, y_{j_{k-m+2}}, ..., y_{j_k}). \qquad (1)$$

Рекуррентная форма $F(z_1, z_2, ..., z_m) = z_{m+1}$ может рассматриваться как интерполяционная функция частного типа и использоваться для приближенного задания законов поведения объекта диагностирования.

Существенным увеличением эффективности при интерполяции геометрического образа автомата является задание последовательности вторых координат точек геометрического образа рекуррентными формами для некоторых подпоследовательностей точек геометрического образа.

5. МЕТОДЫ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Сформулированные во Введении положения 1—5 характеризуют класс задач технического диагностирования, решение которых требует отказа от традиционных и распространенных взглядов и методов технического диагностирования. Известный формальный аппарат с представлением объектов диагностирования таблицами, матрицами, графами и логическими уравнениями и почти очевидными методами построения тестов перестает быть определяющим. Методическое и вспомогательное значение этого аппарата сохраняется.

Основу предлагаемых методов решения задач технического диагностирования составляют результаты анализа и разработок, изложенные в § 1—3 и в работах [4—13]. Эти методы обеспечены конструктивизмом (точными процедурами, моделями, формальными критериями и т. п.) фрагментарно, и в них включаются еще не полученные решения некоторых вопросов, что является следствием новизны методов. Отметим, что принципиальные математические структуры (таблицы, графы и т. п.) остаются не только как элементы в предметном языке теории, но и необходимы с методической и конструктивной точки зрения.

Исходными данными для рассматриваемых методов технического диагностирования являются полностью или частично определенные геометрические образы конечных или бесконечных детерминированных автоматов. Получение диагностической информации с помощью экспериментов с автоматами ограничивается возможностями взаимодействия средств диагностирования с объектами, выделенными положениями 1—5 (см. Введение). Алгоритмизация методов в данной статье не представлена.

5.1. Метод технического диагностирования сложных систем с использованием геометрических образов автоматов

I этап. Построение математических моделей средств технического диагностирования в форме связи диагностических взаимодействий с реакциями на них объекта диагностирования. Сведение моделей разнородных диагностических средств (тестирования, измерения физи-

ческих параметров, решения диагностических задач, визуального осмотра, автоматической сигнализации) к единой общей модели.

II этап. Построение математических моделей в форме геометрических образов для объекта диагностирования, включающее в себя разработку геометрических образов на основе интерполяции и экстраполяции:

— выбор узлов интерполяции, представляющих известные фрагменты поведения объекта диагностирования;

— разработку интерполяционных функций, описывающих объект диагностирования в работоспособном состоянии и при учитываемых неисправностях;

— построение моделей объекта диагностирования, базирующихся на интерполяционных функциях.

III этап. Разработка стратегии поведения диагностического эксперимента на основе анализа геометрических образов, позволяющей эффективно получить диагностическую информацию для решения задачи.

IV этап. Реализация диагностического эксперимента в соответствии со стратегией, разработанной на этапе III.

5.2. Пример схемы реализации метода технического диагностирования

На *этапе I* решаются две задачи: совмещение разнородных средств технического диагностирования в единую процедуру и представление в этой процедуре ресурсов, режимов, ограничений на процесс диагностирования. Для решения первой задачи используется структурное представление входных x и выходных y сигналов объекта диагностирования: $x = (x^1, x^2, ..., x^a)$ и $y = (y^1, y^2, ..., y^a)$, где для каждого i, $1 \leqslant i \leqslant a$, связь x^i и y^i соответствует конкретному средству диагностирования (тестированию, измерению физических параметров, решению диагностической задачи, визуальному осмотру и т. п.). Одним из частных решений второй задачи является выделение на оси (X^*, ω_1) или в геометрическом образе γ_s точек и частей, выбираемых для получения диагностической информации (рис. 6). На этом рисунке показаны части геометрических образов автоматов, доступные для наблюдения рассматриваемыми средствами диагностирования.

Этап 2 метода включает в себя решения задач построения математических моделей, описывающих работоспособное состояние объекта и учитываемые его неисправности. Основными идеями, на которых конструируются модели:

— построение интерполяционных узлов по неполной информации об объекте диагностирования, базирующееся на размещении узлов на всей оси (X^*, ω_1), определяемых как вершины циклов диаграмм инициальных автономных подавтоматов (см. рис. 6);

— построение интерполяционной функции традиционными средствами (интерполяционные формулы Лагранжа, Ньютона, Гаусса, Стирлинга, Бесселя) или в виде рекуррентной формы (1).

На *этапе III* определяется стратегия проведения эксперимента с объектом диагностирования для получения диагностической информации. Достаточная полнота диагностической информации зависит от размещения частей геометрических образов выделенных на этапе I областей потенциальной диагностической информации. Критерием существования решения диагностической задачи является существование для каждой пары геометрических образов выделенной на этапе I области, в которой образы не совпадают. Для поиска стратегии проведения диагностического эксперимента можно использовать построение и анализ частично определяемого дерева вариантов функционирования расщепляемого автомата. Входные и выходные сигналы расщепляемого автомата определяются реализацией I этапа метода. Структура расщепляемого автомата неявно и только частично разрабатывается на втором этапе реализации метода. В дереве вариантов функционирования расщепляемого автомата, построенного для семейства автоматов, задающего модель работоспособного объекта и его учитываемые неисправности, должны быть представлены положениями 1—5 (см. Введение).

Этап IV в рассматриваемом методе выделен из теоретических разработок моделей и стратегии получения диагностической информации и является этапом получения фактических данных в условиях реального эксперимента. Правила логического вывода, дающие результаты эксперимента, представлены в стратегии технического диагностирования.

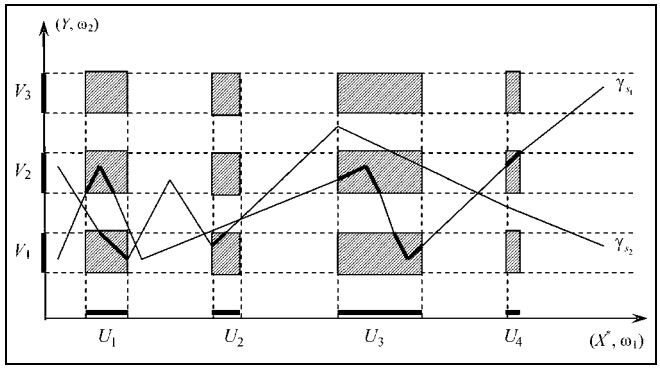


Рис. 6. Выделение областей (U_i, V_j) диагностической информации, доступной для применяемых средств диагностирования

6. КЛАССИФИКАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ОБРАЗОВ ЗАКОНОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СЛОЖНЫХ ОБЪЕКТОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Новый способ геометрического задания законов функционирования дискретных детерминированных объектов технического диагностирования позволяет построить классификацию геометрических образов на основе рекуррентного представления последовательностей вторых координат точек геометрического образа. Введение линейного порядка ω_1 на множестве последовательностей входных сигналов X^* линейно упорядочивает автоматное отображение $\rho_s = \bigcup_{p \in X^*} \{(p, \lambda(s, p))\}$ и порождает последовательность $\xi = <pr_1\lambda(s_1, x_1), pr_1\lambda(s, x_2), ..., pr_1\lambda(s, x_m), pr_2\lambda(s_1, x_1x_1), ..., pr_a\lambda(s, p), ...>$, где $a = |p|$ и $pr_i(q)$ обозначает i-ю букву слова q. Любая рекуррентная форма $F(z_1, z_2, ..., z_m) = z_{m+1}$, $z_i \in U$, любого порядка m при конечном множестве U определяет последовательность, которая, начиная с некоторого элемента, яв-

ляется периодической. Упростим представление последовательности ξ до вида $\xi = <u(1), u(2), ..., u(i), ...>$ и ограничимся рассмотрением ее начального отрезка $\xi = <u(1), u(2), ..., u(k_0)>$.

В качестве базовых параметров и характеристик для классификации последовательностей вида ξ будем использовать:

1) наименьший порядок m_0 рекуррентной формы, определяющей последовательность ξ;

2) последовательность $|\xi_1|, |\xi_2|, ..., |\xi_{m0}| = |\xi|$ длин префиксов последовательности ξ, определяемых рекуррентными формами порядков 1, 2, ..., m_0 при наименьших возможных порядках форм;

3) набор из m_0 последовательностей

$$|\xi_{11}|, |\xi_{12}|, ..., |\xi_{1k1}|$$
$$|\xi_{21}|, |\xi_{21}|, ..., |\xi_{2k2}|$$
$$...$$
$$|\xi_{m0}| = |\xi|$$

длин отрезков последовательности ξ, определяемых правилами: $|\xi_{ij}|$ — наибольшая длина отрезка, определяемого рекуррентной формой порядка i и не определяемого рекуррентной формой, использованной для отрезка ξ_{ij-1}.

Параметры и характеристики, введенные в п. 1—3, можно дополнить на основе учета сложности используемых рекуррентных форм. Для этого определим сложность каждого отрезка $\xi_i(\xi_{ij})$ суммой весов всех наборов значений аргументов рекуррентной формы, использованных при определении отрезка $\xi_i(\xi_{ij})$ последовательности ξ.

Пусть $\bar{u} = (u(t-m), u(t-m+1), ..., u(t-1))$. Вес $d(\bar{u})$ набора $\bar{u}$ представим формулой: $d(\bar{u}) = m_0 + \alpha$, где m_0 — наименьший порядок рекуррентной формы, определяющей последовательность $<\bar{u}>$ или обратную к ней $<\bar{u}^{-1}>$. Тогда весом рекуррентной формы при определении отрезка $\xi_i(\xi_{ij})$ полагаем сумму весов всех использованных на отрезке наборов аргументов. Это позволяет углубить классификацию последовательностей, построенную на основе пунктов 1—3, дополнением к этим пунктам значений весов использованных рекуррентных форм. Следовательно, основными положениями предлагаемой классификации автоматных моделей объекта диагностирования (модели работоспособного объекта и модели его неисправностей) оказываются спектры характеристик, построенные в соответствии с пунктами 1—3, и их расширений с использованием весовых характеристик. Такая классификация позволит выделить классы объектов диагностирования и разрабатывать для них эффективные методы поиска стратегий технического диагностирования сложных систем.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данной статье предложен метод технического диагностирования больших и сложных систем, относительно которых выделены специфические свойства (положения 1—5). На основе этих свойств обоснована необходимость диагностических моделей, базирующихся на интерполяции и экстраполяции. Для этого разработаны символьные геометрические образы законов функционирования автоматов и геометрические образы конкретных вариантов функционирования.

Частичная диагностическая информация, имеющаяся и полученная в процессе эксперимента (процессе диагностирования), преобразуется в узлы интерполяции в результате замены словарных координат точек геометрического образа числовыми координатами. Оказываются применимыми стандартные приемы интерполяции и экстраполяции. Разработано рекуррентное задание геометрических образов. Кроме этого, найден прием, как при частично определенной автоматной модели формировать узлы интерполяции на всей абстрактной оси времени функционирования объекта диагностирования. Для этого используется найденная специфика структуры диаграмм Мура для инициальных автономных подавтоматов, задающих работоспособную систему и рассматриваемые ее неисправности. Предложенные принципы классификации дискретных детерминированных объектов диагностирования на основе свойств геометрических образов автоматов могут стать основой для разработки стратегии диагностирования сложных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Мур Э.* Умозрительные эксперименты с последовательностными машинами // В кн.: Автоматы. — М.: ИИЛ, 1956.
2. *Гилл А.* Введение в теорию конечных автоматов. — М.: Наука, 1966.
3. *Основы* технической диагностики / Под ред. П. П. Пархоменко. — М., 1976. Вып. 1.
4. *Твердохлебов В. А.* Распознавание автоматов на основе геометрической интерпретации // Тез. докл. XI Международной конференции «Проблемы теоретической кибернетики». — Москва, 1996. — С. 191.
5. *Твердохлебов В. А.* Техническое диагностирование в геометрической интерпретации задач, моделей и методов // Материалы Междунар. конф. «Автоматизация проектирования дискретных систем». — Минск, 1995. — Т. 1. — С. 97.
6. *Твердохлебов В. А.* Построение и анализ геометрических образов конечных автоматов // Сб. науч. тр. ИПТМУ РАН «Проблемы точной механики и управления». — Саратов, 2002. — С. 94—100.
7. *Твердохлебов В. А.* Дискретные пространства в задачах управления и диагностирования // Докл. Академии военных наук. — 2003. —№ 9. — С. 102—108.
8. *Tverdokhlebov V. A.* The general features of geometrical images of finite state machines // Proc. of East-West Design & Test Workshop (EWDTW'2004). — Alushta, 2004. — P. 243—247.
9. *Твердохлебов В. А.* Геометрические образы конечных детерминированных автоматов // Изв. Саратовского университета (Новая серия) 2005. — Т. 5, вып. 1. — С. 141—153.
10. *Твердохлебов В. А.* Техническое диагностирование изменений параметров и свойств систем // Радіоелектронні і комп'ютерні системи. — 2006. — № 6. — С. 119—123.
11. *Твердохлебов В. А.* Геометрические образы поведения дискретных детерминированных систем // Там же. — 2006. — № 5. — С. 161—165.
12. *Резчиков А. Ф., Твердохлебов В. А.* Техническое диагностирование мехатронных систем // Мехатроника. Автоматизация. Управление. — 2003. — № 2. — С. 2—6.
13. *Богомолов А. М., Твердохлебов В. А.* Диагностика сложных систем. — Киев: Наукова думка, 1974. — С. 103.

☎ *(8452) 22-10-42*

e-mail: Tverdohlebov-VA@yandex.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии О. П. Кузнецовым. ❑

УДК 681.518.54; 004.3.001.4

ПОДХОД К КОНТРОЛЮ БОЛЬШИХ ЦИФРОВЫХ СИСТЕМ СО СТРУКТУРОЙ ТИПА ТОРОИДАЛЬНОЙ РЕШЕТКИ

В. А. Ведешенков

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва

Представлен подход к организации параллельного контроля больших цифровых систем со структурой типа тороидальной решетки. Контроль компонентов системы проводится в три этапа. На первом этапе параллельно проверяются компоненты подсистем, выделенных первичной раскладкой; на втором (третьем) этапе также параллельно проверяются подсистемы, включающие линии связи, смежные с узлами первичной подсистемы справа (снизу). Разработана организация контроля компонентов подсистемы из четырех узлов, расположенных в вершинах квадрата (2×2). Дан пример ее реализации.

ВВЕДЕНИЕ

Для решения задач, трудоемких в вычислительном отношении (например, задач обтекания, уравнений теплопроводности и т. п.), используются проблемно-ориентированные многопроцессорные вычислительные системы, решающее поле которых образует матричную двумерную конфигурацию со связями каждого процессорного элемента (ПЭ) с четырьмя (восемью) соседними ПЭ (например, матричная система в работах [1, 2]). При системном диагностировании больших цифровых систем — моделей многопроцессорных вычислительных систем с регулярной структурой, содержащих сотни и тысячи процессоров, необходимо организовать параллельное выполнение процедур системного диагностирования в различных частях (подсистемах) исходных анализируемых систем. В работе [2] представлен способ выделения подсистем достаточного размера для параллельного диагностирования больших цифровых систем со структурой типа тороидальной решетки. Показано, что для сокращения общего времени диагностирования системы целесообразно выделять подсистемы, состоящие из 9-ти узлов, расположенных в вершине квадрата (3×3).

Далее представлен подход к организации контроля работоспособности больших цифровых систем (БЦС) со структурой типа тороидальной решетки, обеспечивающий достоверную проверку всех компонентов БЦС путем трехэтапного параллельного выполнения проверок ее подсистем, выделенных специальным образом.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Исходная ВС с регулярной структурой представлена диагностическим графом вида тороидальной решетки размера ($N \times N$), вершины которого отображают модули (процессоры) системы, причем каждый из них связан ребрами с p (= 4) соседними вершинами, тогда L ненаправленных ребер между вершинами отображают линии связи между соответствующими модулями (процессорами). Допускаются устойчивые отказы ограниченного числа вершин и ребер, причем за время проведения процедур контроля новые отказы не возникают. Для описания результатов тестирования модулей, зависящих от технических состояний проверяющего и проверяемого модулей, в работе используется модель Барси—Грандони—Маестрини (БГМ) [3]. Для организации параллельных проверок граф исходной системы разбивается на подсистемы размера ($n \times n$), где $N = gn$. Для проведения контроля в каждой выделенной подсистеме будут использованы процедуры, подобные процедурам самодиагностирования из работы [4]. Запуском и организацией параллельных процессов контроля в различных подсистемах занимается исправный диагностический монитор (ДМ), который находится в процессоре, внешнем по отношению к решетке ПЭ. Требуется разработать подход к организации параллельных процессов контроля в БЦС, обеспечивающий достоверную проверку всех ее компонентов.

2. ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ КОНТРОЛЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ БЦС СО СТРУКТУРОЙ ТИПА ТОРОИДАЛЬНОЙ РЕШЕТКИ

Разработанный подход к организации параллельных процедур контроля БЦС со структурой типа тороидальной решетки заключается в следующем. На этапе разработки системы контроля на графе исходной БЦС раскладываются вплотную квадраты размера $(n \times n)$ и таким образом выделяется g^2 подсистем первичной раскладки S_I, где $I = 0, 1, ..., (g^2 - 1)$ — номер подсистемы.

Как отмечалось в работе [2], при таком размещении вершины графов смежных подсистем будут разделены ребрами, выходящими из одной подсистемы и входящими в смежную подсистему. Эти ребра не входят ни в одну из подсистем S_I и не будут проверяться при контроле этих подсистем.

Проведем первую реконфигурацию состава проверяемых подсистем: сдвинем границы первичной раскладки на графе исходной системы на один столбец вправо и образуем подсистемы $S_{I,\,r}$. Тогда все ребра, соединяющие правые вершины любой подсистемы S_I с соответствующими левыми вершинами правой смежной подсистемы S_J, окажутся в составе подсистемы $S_{I,\,r}$. Проверки этих ребер вместе с вершинами, которые они соединяют, определяют необходимое содержание второго этапа контроля исходной БЦС.

Проведем вторую реконфигурацию состава проверяемых подсистем: сдвинем границы первичной раскладки на графе исходной системы на одну строку вниз и образуем подсистемы типа $S_{I,\,d}$. Тогда все ребра, соединяющие нижние вершины любой подсистемы S_I с соответствующими верхними вершинами нижней смежной подсистемы S_K, окажутся в составе подсистемы $S_{I,\,d}$. Проверки этих ребер вместе с вершинами, которые они соединяют, определяют необходимое содержание третьего этапа контроля исходной БЦС.

Информацию о взаимосвязях модулей, входящих в подсистемы S_I, $S_{I,\,r}$ и $S_{I,\,d}$, запомним с помощью трех таблиц состава T_I, $T_{I,\,r}$ и $T_{I,\,d}$, кроме того, заготовим также три (пустые) рабочие таблицы RT_I, $RT_{I,\,r}$ и $RT_{I,\,d}$; таким образом, на этапе разработки системы контроля нужно подготовить по g^2 таблиц состава T_I, $T_{I,\,r}$ и $T_{I,\,d}$ и по g^2 рабочих таблиц RT_I, $RT_{I,\,r}$ и $RT_{I,\,d}$.

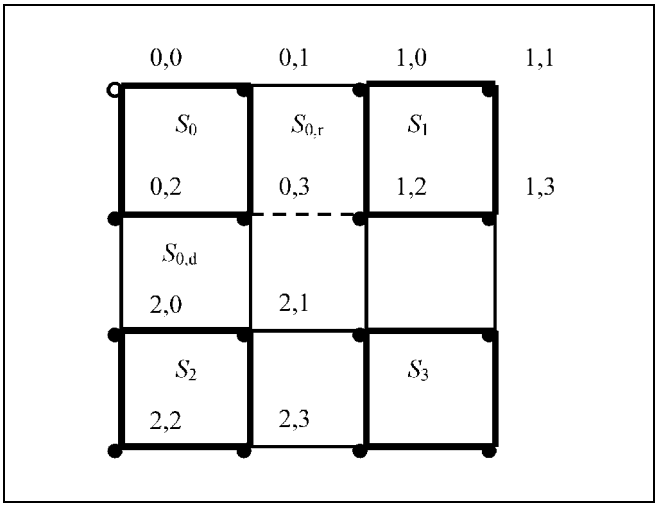
Контроль цифровой системы будет полным, если проверены все модули системы и линии связи в обоих направлениях. Так как увеличение размера (значения n) отдельной подсистемы приводит к увеличению времени ее контроля, то для сокращения времени контроля БЦС благодаря параллельному выполнению процедур контроля в разных подсистемах целесообразно воспользоваться разбиением общего графа на подсистемы размера (2×2); при этом будет обеспечена диагностика только с точностью до подсистемы: данная подсистема — работоспособна или нет. Напомним, что в работе [2] предлагается разделять БЦС на подсистемы размера (3×3), что позволяет организовать диагностику уже с точностью до отдельных компонентов графа БЦС — модуля и ребра.

Характерное свойство модели БГМ состоит в том, что нулевое значение результата проверки исправного модуля не зависит от состояния (исправен—неисправен) проверяющего модуля. Другими словами, нулевой результат проверки служит «индикатором» исправности проверенного модуля и «индикатором» достоверности результатов тех проверок, которые затем будет выполнять этот модуль.

Поэтому в разработанном методе контроля передача управления очередному проверяющему модулю выполняется только в том случае, если его проверка дала нулевой результат (в терминологии работы [5], передача по 0-путям).

Для реализации последовательного выполнения проверок разными проверяющими модулями на диагностическом графе каждой подсистемы S_I, $S_{I,\,r}$ и $S_{I,\,d}$ выберем такой путь, который обеспечит обход всех вершин диагностического графа каждой исправной подсистемы. Для подсистемы размера (2×2), граф которой имеет вид кольца, возможны два варианта такого пути: прямой и обратный, и четыре варианта выбора начала пути. Критерием выбора начальных вершин и направления прохождения по кольцу назначим общую вершину $m_{I,\,fin}$ окончания трех путей, обходящих графы исправных подсистем S_I, $S_{I,\,r}$ и $S_{I,\,d}$.

Для иллюстрации на рисунке показан граф фрагмента тороидальной решетки, содержащего четыре смежных подсистемы S_0, S_1, S_2 и S_3 размера (2×2). Вершины показаны зачерненными кружками, внутренние ребра каждой подсистемы — утолщенными линиями, а дуги между подсистемами — более тонкими линиями. Пары цифр, разделенных запятой: 0,0; 0,1;..., 2,2; 2,3; определяют номера вершин, расположенных на пересечении ближайшего к номеру левого столбца и ближайшей к нему нижней строки; первая цифра в номере является номером подсистемы, в которую входит эта вершина, а вторая цифра — номером вершины в этой подсистеме. В общем случае, для БЦС номер подсистемы может



Граф фрагмента тороидальной решетки

быть и многоразрядным числом, а не цифрой, как в данном примере.

Квадрат, включающий в себя вершины с номерами 0,0; 0,1; 0,2; 0,3, определяет состав подсистемы S_0. После сдвига ее границ вправо на один столбец получим подсистему $S_{0,r}$, включающую в себя вершины 0,1; 0,3; 1,0; 1,2 и ребра (0,1—1,0), (0,3—1,2), соединяющие подсистемы S_0 и S_1. После сдвига границ подсистемы S_0 вниз на одну строку получим подсистему $S_{0,d}$, включающую в себя вершины 0,2; 0,3; 2,0; 2,1 и ребра (0,2—2,0), (0,3—2,1), соединяющие подсистемы S_0 и S_2.

Возвращаясь к графу на рисунке, для подсистем S_0, $S_{0,r}$ и $S_{0,d}$ выберем такие пути, которые оканчиваются в одной и той же вершине $m_{0,fin} = 0{,}3$ (опуская символ модуля и ограничиваясь только номерами модулей):

$$P(S_0) = 0{,}1 \to 0{,}0 \to 0{,}2 \to 0{,}3;$$

$$P(S_{0,r}) = 0{,}1 \to 1{,}0 \to 1{,}2 \to 0{,}3;$$

$$P(S_{0,d}) = 0{,}2 \to 2{,}0 \to 2{,}1 \to 0{,}3.$$

Взаимное положение модулей в выбранных путях $P(S_0)$, $P(S_{0,r})$, $P(S_{0,d})$ запомним так: в строках $C_{0,j}$ ($C_{0,r,j}$, $C_{0,d,j}$) таблицы состава (табл. 1) T_0 ($T_{0,r}$, $T_{0,d}$), первым преемником модуля m_j запишем тот модуль m_{k1}, который является соседом справа модуля m_j в выбранном пути.

В начале процесса контроля БЦС диагностический монитор выдает сигнал на проведение процедур контроля во всех подсистемах S_I, результаты которых запоминаются в соответствующих рабочих таблицах RT_I. По истечении определенного времени Δt_1 ДМ выдает сигнал на проведение контроля во всех подсистемах $S_{I,r}$, результаты которых запоминаются в соответствующих таблицах $RT_{I,r}$. Точно также, по истечении определенного времени Δt_2 ДМ выдает сигнал на проведение контроля во всех подсистемах $S_{I,d}$, результаты которых запоминаются в таблицах $RT_{I,d}$. Наконец, по истечении определенного времени Δt_3 ДМ собирает результаты проверок из всех модулей $m_{I,fin}$, $m_{I,r,fin}$, $m_{I,d,fin}$, в которых заканчиваются пути проверки подсистем S_I, $S_{I,r}$ и $S_{I,d}$, обрабатывает их и формирует диагноз: все компоненты подсистем S_I исправны или некоторые из них содержат компоненты, подозреваемые в отказе.

Таблица 1

Таблицы состава подсистем S_0, $S_{0,r}$, $S_{0,d}$

Строки $C_{0,j}$, $C_{0,r,j}$, $C_{0,d,j}$	Проверяющий модуль	Проверяемые модули, результаты их проверок			
	m_j	m_{k1}	$r_{j,k1}$	m_{k2}	$r_{j,k2}$
	T_0				
$C_{0,0,1}$	0,1	0,0	—	0,3	—
$C_{0,0,0}$	0,0	0,2	—	0,1	—
$C_{0,0,2}$	0,2	0,3	—	0,0	—
$C_{0,0,3}$	0,3	0,1	—	0,2	—
	$T_{0,r}$				
$C_{0,r,0,1}$	0,1	1,0	—	0,3	—
$C_{0,r,1,0}$	1,0	1,2	—	0,1	—
$C_{0,r,1,2}$	1,2	0,3	—	1,0	—
$C_{0,r,0,3}$	0,3	0,1	—	1,2	—
	$T_{0,d}$				
$C_{0,d,0,2}$	0,2	2,0	—	0,3	—
$C_{0,d,2,0}$	2,0	2,1	—	0,2	—
$C_{0,d,2,1}$	2,1	0,3	—	2,0	—
$C_{0,d,0,3}$	0,3	0,2	—	2,1	—

А. Остановимся подробнее на организации процедур контроля в каждой подсистеме S_I в БЦС со структурой типа тороидальной решетки. В начале контроля ДМ выдает команду во все подсистемы S_I. По этой команде в каждой подсистеме S_I начальный модуль m_n должен выполнить следующие действия:

- из таблицы T_I выделить строку $C_{I,n}$, переписать ее в рабочую таблицу RT_I (пока пустую), найти в строке $C_{I,n}$ номера преемников m_{k1}, m_{k2}, ...; проверить их технические состояния и в клетки $r_{n,k1}$, $r_{n,k2}$, ... строки $C_{I,n}$ таблицы RT_I записать результаты проверок в двоичном коде: 0 — правильно, 1 — неправильно;
- оценить результаты проверок:

— если $r_{n,k1} = 0$, то передать копию таблицы RT_I и управление процессом контроля модулю m_{k1} — соседу справа модуля m_n в выбранном пути проверки;

— если $r_{n,k1} = 1$, но один из других результатов (например, $r_{n,k2}$) — нулевой, то передать копию таблицы RT_I и управление процессом контроля соответствующему модулю (модулю m_{k2});

- если же проверки всех преемников m_n дали единичные результаты, то модуль m_n останавливает процесс контроля данной подсистемы S_I.

Исправный модуль m_j ($\equiv m_{k1}$ или m_{k2}, но не начальный модуль m_n), получив управление от модуля m_n:

— из таблицы T_I выделяет строку $C_{I,j}$, переписывает ее в рабочую таблицу RT_I, находит в строке $C_{I,j}$ номера преемников m_{k1}, m_{k2}, ..., проверяет их состояния и в соответствующие клетки строки $C_{I,j}$ записывает двоичные результаты проверок:

— если результаты всех проверок — нулевые, то передает копию таблицы RT_I и управление процессом контроля модулю m_{k1};

— если же получен хотя бы один единичный результат, то останавливает процесс контроля.

Каждый из следующих модулей выполняет аналогичные действия. Этот процесс проверок и «хождения» по

выбранному пути заканчивается, когда управление переходит к конечному модулю $m_{I,fin}$, который после выполнения своих проверок, запоминания их результатов закрывает таблицу RT_I от изменений, отметив знаком «*» символ последней строки.

Такой детерминированный путь обхода вершин графа подсистемы S_I возможен только при исправном состоянии всех ее компонентов.

Б. Спустя заранее определенное время Δt_1 после начала контроля подсистем S_I ДМ выдает начальным модулям m_n команду на выполнение контроля в подсистемах $S_{I,r}$. Действия модуля m_n и его исправных преемников аналогичны описанным ранее для модуля m_n и его преемников в подсистеме S_I. Различия связаны с заменой используемых таблиц: T_I на $T_{I,r}$, RT_I на $RT_{I,r}$; и входящих в них строк: $C_{I,n}$ на $C_{I,r,n}$, $C_{I,j}$ на $C_{I,r,j}$, $C_{I+1,r,j}$. Как и в подсистемах S_I, конечный модуль $m_{I,r,\text{fin}}$ после выполнения своих проверок, запоминания их результатов закрывает таблицу $RT_{I,r}$ для изменений.

В. После получения команды от ДМ модули m_n начинают выполнение контроля подсистем $S_{I,d}$. Их действия и действия исправных преемников аналогичны описанным ранее для модулей m_n и его преемников в подсистемах $S_{I,r}$.

Г. Как отмечалось, спустя определенное время Δt_3 после второй реконфигурации ДМ собирает результаты проверок в виде таблиц RT_I, $RT_{I,r}$, $RT_{I,d}$ с конечных модулей $m_{I,\text{fin}}$, $m_{I,r,\text{fin}}$ и $m_{I,d,\text{fin}}$ путей проверки подсистем S_I, $S_{I,r}$ и $S_{I,d}$, обрабатывает их и формирует диагноз технического состояния компонентов БЦС. Если три пути проверки подсистем с одинаковым номером I заканчиваются общим модулем $m_{I,\text{fin}}$, то ДМ считывает содержимое таблиц RT_I, $RT_{I,r}$ и $RT_{I,d}$ из этого модуля $m_{I,\text{fin}}$.

Обработка информации из таблиц RT_I, $RT_{I,r}$ и $RT_{I,d}$ сводится к считыванию результатов проверок из соответствующих клеток этих таблиц и сравнению их с нулевым эталоном:

— если все результаты проверок совпадают с эталоном, то исправны все компоненты, участвовавшие в этих проверках;

— при несовпадении в составе проверенных подсистем есть компоненты, подозреваемые в отказе.

3. ПРИМЕР

Особенности разработанной организации контроля БЦС со структурой типа тороидальной решетки покажем на примере контроля подсистемы S_0 и подсистем $S_{0,r}$, $S_{0,d}$, образующихся после двух реконфигураций подсистемы S_0. Предположим, что между сеансами контроля в системе накопились отказы модуля с номером 0,0 (показан на рисунке пустым кружком) и примыкающей к подсистеме S_0 линии связи (1,2—0,3), показанной пунктиром.

А. В начале контроля по команде ДМ начальный модуль 0,1 в подсистеме S_0 выполняет следующие действия:

— из таблицы T_0 (см. табл. 1) выделяет строку $C_{0,0,1}$, переписывает ее в рабочую таблицу RT_0 (пока пустую в табл. 2), находит в строке $C_{0,0,1}$ номера преемников 0,0; 0,3, проверяет их технические состояния и в клетки $r_{j,k1}$, $r_{j,k2}$, ... строки $C_{0,0,1}$ записывает результаты проверок в двоичном коде: 0 — правильно, 1 — неправильно;

— оценивает результаты проверок: так как $r_{j,k1} = 1$ (результат проверки модуля 0,0), но $r_{j,k2} = 0$ (результат проверки модуля 0,3), то передает копию таблицы RT_0 и управление процессом контроля модулю 0,3 (нулевой результат, по которому передается управление, здесь и в последующих строках показан полужирным шрифтом).

Исправный модуль 0,3, получив управление от модуля 0,1:

— из таблицы T_0 выделяет строку $C_{0,0,3}$, переписывает ее в рабочую таблицу RT_0, находит в строке $C_{0,0,3}$ номера преемников 0,1; 0,2; проверяет их состояния и в соответствующие клетки строки $C_{0,0,3}$ записывает нулевые результаты проверок, передает копию таблицы RT_0 и управление процессом контроля модулю 0,2. Модуль 0,2, получив управление от модуля 0,3, проверит своих преемников, обнаружит, что $r_{j,k2} = 1$, и остановит процесс контроля.

Б. Спустя заранее определенное время Δt_1 после контроля подсистемы S_0 ДМ выдает начальному модулю 0,1 команду на выполнение контроля подсистемы $S_{0,r}$. Дальнейшие действия модуля 0,1 и последующих модулей аналогичны описанным ранее для модуля 0,1 и его преемников в подсистеме S_0. Различия связаны с заменой используемых таблиц: T_0 на $T_{0,r}$, RT_0 на $RT_{0,r}$; и входящих в них строк $C_{0,j}$ на $C_{0,r,j}$. В строке $C_{0,r,0,1}$ таблицы $RT_{0,r}$ (см. табл. 2) показаны результаты проверок $r_{j,k1} = r_{j,k2} = 0$ модулем 0,1 его преемников — модулей

Таблица 2

Информация к Примеру

Строки $C_{0,j}$, $C_{0,r,j}$, $C_{0,d,j}$	Проверяющий модуль	Проверяемые модули, результаты их проверок			
	m_j	m_{k1}	$r_{j,k1}$	m_{k2}	$r_{j,k2}$
		RT_0			
$C_{0,0,1}$	0,1	0,0	1	0,3	0
$C_{0,0,3}$	0,3	0,1	0	0,2	0
$C_{0,0,2}$	0,2	0,3	0	0,0	1
		$RT_{0,r}$			
$C_{0,r,0,1}$	0,1	1,0	0	0,3	0
$C_{0,r,1,0}$	1,0	1,2	0	0,1	0
$C_{0,r,1,2}$	1,2	0,3	1	1,0	0
		$RT_{0,d}$			
$C_{0,d,0,2}$	0,2	2,0	0	0,3	0
$C_{0,d,2,0}$	2,0	2,1	0	0,2	0
$C_{0,d,2,1}$	2,1	0,3	0	2,0	0
$^*C_{0,d,0,3}$	0,3	0,2	0	2,1	0

1,0 и 0,3; так как эти результаты — нулевые, модуль 0,1 передает копию таблицы $RT_{0,\,r}$ и управление процессом контроля модулю 1,0. Из следующей строки $C_{0,\,r,\,1,0}$ таблицы $RT_{0,\,r}$ видно, что, получив нулевые результаты проверок, модуль 1,0 передает копию таблицы $RT_{0,\,r}$ и управление процессом контроля модулю 1,2. Проверив своих преемников, модуль 1,2 обнаружит, что $r_{j,\,k1} = 1$, и остановит процесс контроля в подсистеме $S_{0,\,r}$.

В. Спустя заранее определенное время Δt_2 после контроля подсистемы $S_{0,\,r}$ ДМ выдает начальному модулю 0,2 команду на выполнение контроля подсистемы $S_{0,\,d}$. Результаты действий модуля 0,2 и последующих модулей 2,0; 2,1 и 0,3 показаны в таблице $RT_{0,\,d}$ (см. табл. 2). Так как последний модуль 0,3 не нашел исправного модуля, не исполнявшего функций проверяющего, то он закрыл таблицу $RT_{0,\,d}$ для изменений, отметив знаком «*» символ строки $C_{0,\,d,\,0,3}$.

Г. Спустя определенное время Δt_3 после начала проверки подсистемы $S_{0,\,d}$ ДМ собирает результаты проверок в виде таблиц RT_0, $RT_{0,\,r}$ и $RT_{0,\,d}$ с конечного модуля $m_{0,\,\mathrm{fin}} = 0,3$ путей проверки подсистем S_0, $S_{0,\,r}$ и $S_{0,\,d}$. Так как только в подсистеме $S_{0,\,d}$ процесс контроля закончился в конечном модуле 0,3, ДМ считает только таблицу $RT_{0,\,d}$, не обнаружит других таблиц (RT_0, $RT_{0,\,r}$) и сформирует диагноз: среди проверенных компонентов подсистем S_0, $S_{0,\,r}$ и $S_{0,\,d}$ есть компоненты, подозреваемые в отказе.

Для установления более точного диагноза нужно считать результаты проверок, хранящиеся в таблице RT_0 в модуле 0,2 и в таблице $RT_{0,\,r}$ в модуле 1,2. Объединив информацию из таблиц RT_0, $RT_{0,\,r}$ и $RT_{0,\,d}$ и обработав ее, например, с помощью метода из работы [6], получим следующий диагноз:

— подозреваются в отказе модуль 0,0 и линия связи (1,2—0,3), что совпадает с исходной отказовой ситуацией;

— исправны остальные 7 модулей, входящие в подсистемы S_0, $S_{0,\,r}$ и $S_{0,\,d}$;

— исправны 14 линий связи;

— не определено состояние двух линий: (0,1—0,0), (0,2—0,0), так как отказавший модуль 0,0 «маскирует» состояние инцидентных линий;

— не определено состояние трех линий: (0,0—0,1), (0,0—0,2), (0,3—1,2), так как соответствующие проверки не выполнялись.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход к организации параллельных процессов контроля больших цифровых систем со структурой типа тороидальной решетки заключается в следующем. На этапе разработки системы контроля на графе исходной большой цифровой системы раскладываются вплотную квадраты размера (2×2) и таким образом выделяются подсистемы первичной раскладки S_I. Затем выполняется первая реконфигурация состава выделенных подсистем: путем сдвига границ подсистем первичной раскладки вправо на один столбец формируются подсистемы $S_{I,\,r}$. Далее выполняется вторая реконфигурация границ подсистем первичной раскладки: путем их сдвига вниз на одну строку формируются подсистемы $S_{I,\,d}$.

В начале процесса контроля БЦС диагностический монитор выдает сигнал на проведение контроля в подсистемах S_I, результаты которого запоминаются в рабочих таблицах RT_I. По истечении определенного времени ДМ выдает сигнал на проведение контроля в подсистемах типа $S_{I,\,r}$, результаты которого запоминаются в рабочих таблицах $RT_{I,\,r}$. Точно также, по истечении определенного времени ДМ выдает сигнал на проведение контроля в подсистемах типа $S_{I,\,d}$, результаты которого запоминаются в рабочих таблицах $RT_{I,\,d}$. Наконец, по истечении определенного времени ДМ собирает результаты проверок из всех модулей $m_{I,\,\mathrm{fin}}$, $m_{I,\,r,\,\mathrm{fin}}$ и $m_{I,\,d,\,\mathrm{fin}}$, в которых заканчиваются пути проверки исправных подсистем S_I, $S_{I,\,r}$ и $S_{I,\,d}$, обрабатывает их и формирует диагноз: все компоненты проверенной БЦС исправны или она содержит компоненты, подозреваемые в отказе.

Автор выражает благодарность д-ру техн. наук М. Ф. Караваю за доброжелательное прочтение рукописи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *О структуре* вычислителя для решения задач обтекания. Комплексный подход к проектированию / А. Н. Андрианов, К. И. Бабенко, А. В. Забродин и др. // Вычислительные процессы и системы. — М.: Наука, 1985. — Вып. 2. — С. 13—62.
2. *Ведешенков В. А.* Способ выделения подсистем достаточного размера для параллельного диагностирования больших цифровых систем с регулярной структурой // Проблемы управления. — 2006. — № 5. — С. 74—79.
3. *Ведешенков В. А.* О диагностировании отказавших модулей и связей в цифровых системах с использованием модели БГМ // Автоматика и телемеханика. — 2002. — № 2. — С. 159—171.
4. *Ведешенков В. А.* Организация самодиагностирования технического состояния цифровых систем // Там же. — 2003. — № 11. — С. 165—182.
5. *Пархоменко П. П.* Определение технического состояния многопроцессорных вычислительных систем путем анализа графа синдромов // Там же. — 1999. — № 5. — С. 126—135.
6. *Ведешенков В. А.* Самодиагностирование возникающих отказов и их устранение в цифровых системах с реконфигурацией // Проблемы управления. — 2004. — № 3. — С. 48—61.

(495) 334-75-90

e-mail: vva@l9.ipu.rssi.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии В. Д. Малюгиным. ❑

УДК 621.396

СИСТЕМЫ МНОГОСКОРОСТНОЙ ОБРАБОТКИ МНОГОМЕРНЫХ СИГНАЛОВ. Ч. I[1]

М. К. Чобану

Московский энергетический институт (технический университет)

Рассмотрены методы и средства цифровой обработки многомерных сигналов, получившие за рубежом интенсивное развитие в последние 20—30 лет. Приведены примеры приложений, в которых необходима многоскоростная обработка многомерных сигналов.

ВВЕДЕНИЕ

Сейчас можно говорить о новом научно-техническом направлении в области теории систем и технологий обработки сигналов — разработке теории многомерных (ММ или M-D — *multidimensional*) систем и методов обработки многомерных сигналов, развитие которых стимулируется важными практическими задачами. В англоязычной литературе термин *multidimensional* обычно используется для обозначения тех систем, о которых идет речь в данной статье (многомерных), а *multivariate* (или *multivariable*) и *MIMO* (*multiple inputs multiple outputs*) — для обозначения систем со многими входами/выходами.

Многомерные сигналы описываются функциями нескольких переменных и могут обрабатываться только многомерными системами, т. е. системами, описываемыми функциями многих переменных и уравнениями относительно многих неизвестных. Интенсивное развитие данного направления началось с 1960-х гг. и базируется на теории одномерных и многомерных сигналов и систем, а также на теории функций многих переменных, компьютерной алгебре, теории вейвлет-преобразования, функциональном анализе, теории вероятностей и случайных процессов, теории линейной и нелинейной аппроксимации и др.

Под многомерными сигналами понимаются сигналы, зависящие от нескольких пространственных и временной координат: двумерные неподвижные изображения, трехмерные томографические снимки или видеосигналы, четырехмерные томографические сигналы, зависящие от времени. Эффективное преобразование таких сигналов осуществляется путем применения многомерных многоскоростных (*multirate*) систем. С их помощью сигнал может быть представлен в виде, более удобном для решения многих прикладных задач, таких, как сжатие информации (с потерями или без потерь), удаление шумов, распознавание образов и др. Многоскоростные системы состоят из цифровых фильтров и устройств изменения плотности отсчетов в пространственно-временной области, поэтому сигналы в различных частях системы обрабатываются с различной скоростью. Применение таких систем позволяет строить различные схемы кратномасштабного анализа на основе вейвлетов.

В последнее время большое развитие получает практика применения вейвлетов для решения задач сжатия и обработки изображений и видео, являющихся нестационарными по своей природе [1—4]. Вейвлет-преобразования позволили одновременно снизить сложность и повысить эффективность кодеков. Ядром стандарта JPEG-2000 служит разделимое вейвлет-преобразование. В будущем неизбежным станет применение неразделимого вейвлет-преобразования в различных стандартах сжатия ММ сигналов.

К задачам цифровой обработки многомерных сигналов относятся задачи обработки радио- и гидролокационных сигналов, геофизических, акустических и световых полей, передачи данных в локальных и глобальных сетях, обработки неподвижных изображений и видео в целях их архивирования или сжатия, обработки сигналов в медицине (рентгеновская и ультразвуковая томография), метеорологии, космонавтике, ядерной физике и др. Эти направления исследований нашли отражение в приоритетных направлениях развития науки, технологий и техники «Информационно-телекоммуникационные технологии и электроника», «Экология и рациональное природопользование» и «Космические и авиационные технологии», а также в перечне критических технологий «Информационно-телекоммуникационные системы», «Мониторинг окружающей среды» и «Распознавание образов и анализ изображений».

Резко возрос интерес к решению задач анализа, синтеза, обработки, кодирования, сжатия ММ сигналов для их передачи, хранения, архивирования, защиты от несанкционированного доступа, восстановления в системах связи (проводных и беспроводных) при наличии ограничений (на скорость передачи, на полосу пропуска-

[1] Работа выполнена при поддержке РФФИ и японского общества JSPS, грант № 06-07-91751-ЯФ_а.

ния, на динамический диапазон и т. д.). Это относится к обработке неподвижных изображений (2-D сигналов), видеосигналов (3-D сигналов), меняющихся во времени томографических снимков (4-D сигналов).

В то время как большинство разработок было сконцентрировано на одномерных сигналах и ММ случай был реализован лишь через тензорное произведение, некоторые исследователи сконцентрировали усилия на «истинном» ММ случае. Под истинным ММ случаем нужно понимать то, что допускается и неразделимая дискретизация, и неразделимая фильтрация. Хотя истинный ММ подход может страдать от некоторых недостатков (высокой вычислительной сложности, потенциальных проблем устойчивости в случае ММ рекурсивной фильтрации), он дает некоторые неоспоримые преимущества. Применение неразделимых фильтров ведет к большему числу степеней свободы и синтезу лучших фильтров. Неразделимая децимация позволяет строить схемы, лучше приспособленные к визуальной системе человека.

1. ОСНОВНЫЕ ПРИЛОЖЕНИЯ: ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРОБЛЕМЫ, ВОЗМОЖНЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Существует ряд приложений, в которых цифровая обработка ММ сигналов играет ключевую роль. Среди них системы:

— сжатия ММ сигналов (многоскоростные системы, трансмультиплексоры);

— обработки мультиспектральных сигналов дистанционного зондирования Земли;

— 3-D визуализации (трехмерное телевидение, световые и акустические поля).

1.1. Системы сжатия многомерных сигналов

Фундаментальная проблема в цифровых системах состоит в сокращении избыточности информации. Разработка эффективных способов и методов сжатия 1-D и ММ сигналов служит предпосылкой эффективного использования каналов связи и обеспечивает сохранение действующих частотных планов, высвобождение большой части частотного пространства для предоставления пользователям таких видов услуг, как телевидение высокой четкости, трехмерное телевидение, видеоконференции, многопрограммное заказное телевидение и звуковое вещание.

Цифровые многоскоростные системы. Цифровые многоскоростные банки фильтров были впервые введены в работе [1] для сжатия речи. В дальнейшем они стали шире применяться, главным образом, для кодирования подполос речи, статических изображений и видео [2—4]. При разработке основ теории исходили из того, чтобы отсутствовали наложение и искажение сигналов. Речь шла о синтезе систем, достигающих точного восстановления сигнала в одном или нескольких измерениях, от двухканальных ортогональных банков до многоканальных систем. Для выполнения этих требований усилия были сконцентрированы на фильтрах с дробно-рациональными функциями преобразования, т. е. на линейных инвариантных к сдвигу системах.

Многоскоростные системы состоят из двух наборов (банков) фильтров — банка анализа и банка синтеза (рис. 1). Наряду с банками анализа и синтеза, многоскоростная система включает в себя устройства квантования и кодирования/декодирования подполосовых сигналов (на рисунке не показаны). В зависимости от порядка соединения банков фильтров можно получить

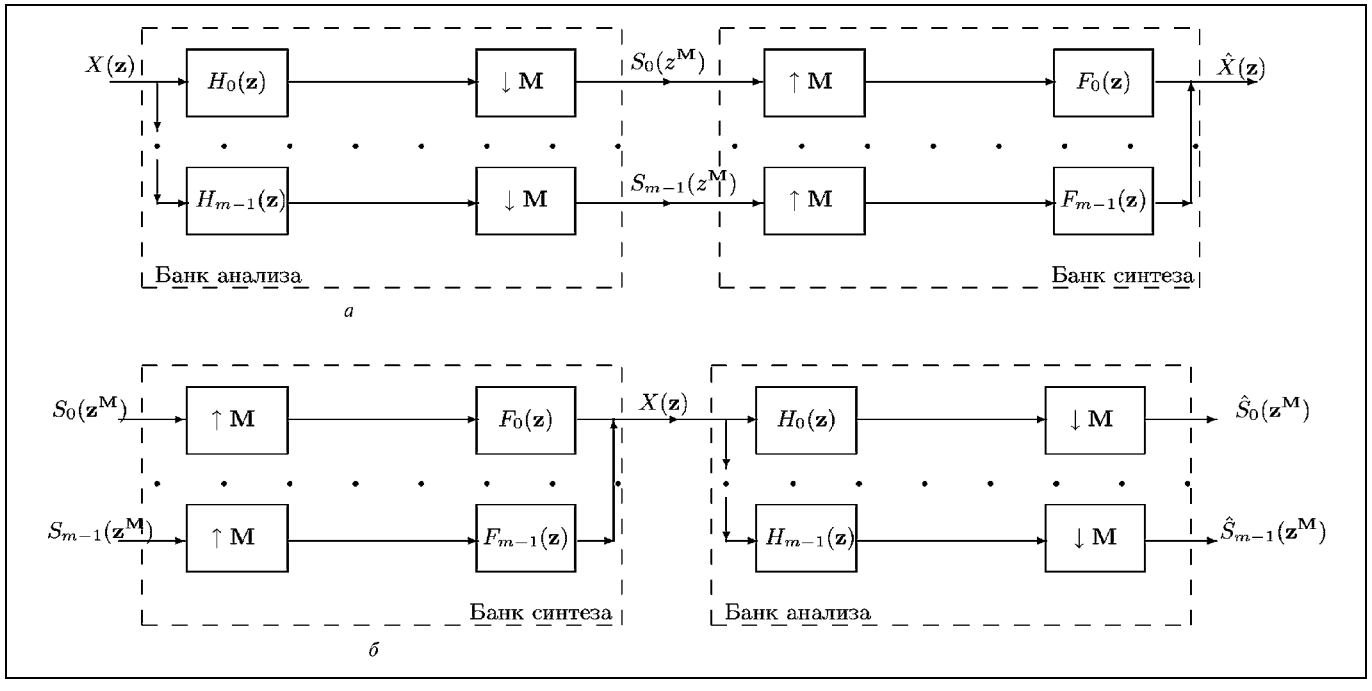


Рис. 1. Два варианта соединения банков анализа и синтеза:
а — банк фильтров анализа/синтеза («многоскоростная система»; *б* — банк фильтров анализа/синтеза (трансмультиплексор)

различные устройства. Если на вход банка анализа подается сигнал, который разлагается на подполосовые составляющие и далее восстанавливается обратно в банке синтеза, такая система называется банком фильтров анализа/синтеза (устоявшегося названия нет, поэтому в данной работе это устройство будет называться просто «многоскоростной системой», см. рис. 1, *а*). Если поменять порядок следования банка анализа и банка синтеза, то набор сигналов будет подаваться на вход банка синтеза, с выхода которого комбинированный сигнал будет поступать на вход банка анализа, производящего его разложение на составляющие. Такая система называется банком фильтров синтеза/анализа или (в данном случае имеется устоявшееся название) трансмультиплексором (см. рис. 1, *б*). Важно, что обе системы описываются по сути одними и теми же уравнениями. Полученные для таких систем результаты в равной степени применимы как к трансмультиплексорам, так и к MIMO системам. Аппарат многомерных полиномиальных полифазных матриц позволяет решать и задачу синтеза таких систем, включая случай, когда число входных сигналов отличается от числа выходных сигналов [2, 5].

Банк анализа состоит из фильтров $H_i(\mathbf{z})$ и дециматоров $\downarrow\mathbf{M}$ ($\mathbf{M}$ — матрица децимации), банк синтеза — из интерполяторов $\uparrow\mathbf{M}$ и фильтров $F_i(\mathbf{z})$, где $\mathbf{z} = (z_1, ..., z_D)$, D — число измерений сигнала, $i = 0, 1, ..., m - 1$. В работе рассматривается случай максимально децимированной многоскоростной системы, когда число каналов $m = |\det \mathbf{M}|$. На рис. 1, *а* показан только один уровень разложения входного сигнала $x(\mathbf{z})$ на m каналов, в общем случае такому разложению может быть повторно подвергнут любой из таких подполосовых сигналов, и такое разложение может повторяться многократно.

Условия точного восстановления сигналов. Входной сигнал $x(\mathbf{z})$ поступает на вход банка анализа, а именно на вход фильтров $H_i(\mathbf{z})$, затем прореживается (децимируется) в соответствии с матрицей децимации $\mathbf{M}$. На выходе банка анализа получаются m подполосовых сигналов (каналов), которые далее попадают в блок передачи сигнала, где они могут кодироваться, квантоваться, сжиматься и т. д. (на рис. 1, *а* кодирующее устройство не показано). После передачи данных декодированные подполосовые сигналы поступают в банк синтеза, где сначала происходит интерполяция сигналов, а затем их фильтрация. Восстановленный сигнал $\hat{X}$ — это сумма подполосовых сигналов на выходе банка синтеза. В $\mathbf{z}$-области выходной сигнал для двухканальных систем ($m = 2$) описывается равенством

$$2\hat{x}(\mathbf{z}) = x(\mathbf{z})[H_0(\mathbf{z})F_0(\mathbf{z}) + H_1(\mathbf{z})F_1(\mathbf{z})] + x(-\mathbf{z})[H_0(-\mathbf{z})F_0(\mathbf{z}) + H_1(-\mathbf{z})F_1(\mathbf{z})].$$

Если восстановленный сигнал идентичен первоначальному, не считая задержки и масштабирования, то система анализа-синтеза называется банком фильтров со свойством точного восстановления сигнала. Свойство точного восстановления сигнала записывается как $\hat{x}(\mathbf{z}) = \mathbf{z}^{\mathbf{s}}x(\mathbf{z})$, где $\mathbf{z}^{\mathbf{s}}$ — MM сдвиг, $\mathbf{z}^{\mathbf{s}} = (z_1^{s_1}, ..., z_D^{s_D})$. Зрение человека чувствительно к фазовому искажению. Так как фазового искажения можно избежать, применяя фильтры со свойством линейной фазы, то желательно, чтобы все фильтры, составляющие банк фильтров, обладали этим свойством в случае обработки изображений или видеосигналов.

Важнейшим блоком многоскоростной системы является блок децимации. Если одномерная децимация может быть выполнена единственным способом, то в случае двух или более измерений это не так. Многомерная децимация представлена решеткой, которая может быть разделимой или неразделимой. Другим важнейшим блоком являются цифровые фильтры. Синтез MM цифровых фильтров для многоскоростных систем включает в себя учет таких проектных ограничений, как, например, ортогональность, линейная фаза, регулярность и др., необходимых для синтеза эффективных систем сжатия, удаления шумов и т. д. Фильтры сами по себе могут быть как разделимыми, так и неразделимыми, независимо от вида решетки.

1.2. Мультиспектральные системы

Мультиспектральные или многоканальные системы дистанционного зондирования поверхности Земли с аэрокосмических носителей широко применяются для решения задач экологии, океанографии, геологии, картографии, в сельском хозяйстве. Примером такой системы служит спектрометр видимого и инфракрасного диапазонов AVIRIS [6]. Покрывая достаточно широкий диапазон волн, спектрометр имеет 224 канала записи 16-битной информации об изображениях размером 512×614 пикселей каждое. Тем самым один мультиспектральный сигнал занимает примерно 134 Мбайт. При необходимости оперативной оценки и обработки сигнала, а также при его передаче и (или) архивировании возникают проблемы, связанные с его большим объемом. Поэтому задача создания средств автоматической оценки и обработки сигналов дистанционного зондирования очень актуальна.

Как показано в работе [7], отдельные компонентные изображения мультиспектрального сигнала могут обладать различными шумовыми свойствами и очень высокой степенью коррелированности между кадрами (рис. 2 и 3).

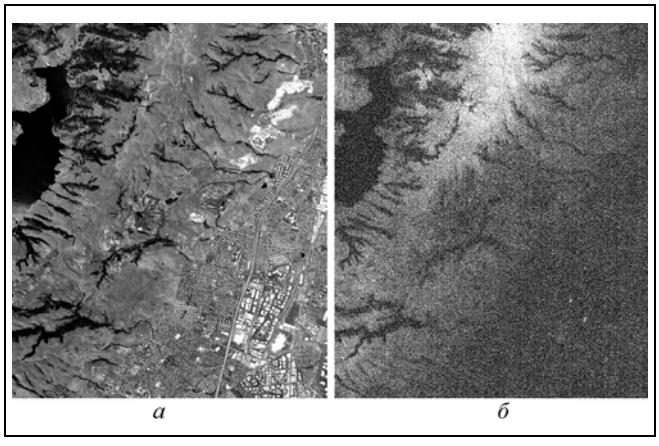


Рис. 2. Примеры кадров мультиспектрального сигнала [7]: *а* — кадр с высоким отношением сигнал/шум; *б* — кадр с низким отношением сигнал/шум

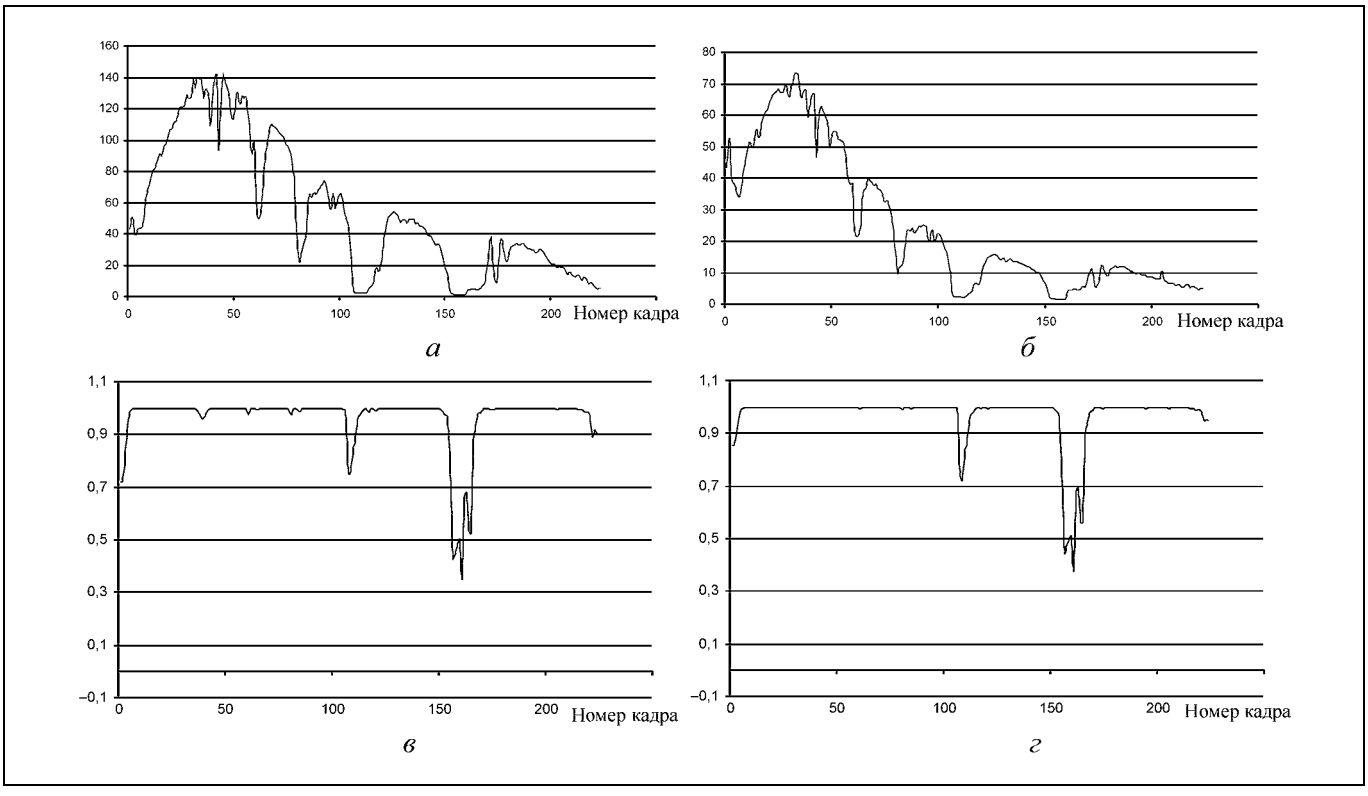


Рис. 3. Характеристики двух мультиспектральных сигналов [7]:
а — отношение сигнал/шум (сигнал 1); *б* — то же (сигнал 2); *в* — коэффициент корреляции (сигнал 1); *г* — то же (сигнал 2)

Можно заметить, что более низкий коэффициент корреляции для некоторых кадров многоканального сигнала дистанционного зондирования обусловлен высоким уровнем шума (см. рис. 3). Это особенно заметно, если сравнить зависимости отношения сигнал/шум см. рис. 3, *а*, *б*), пикового отношения сигнал/шум (см. рис. 3, *д*, *е*) и коэффициента корреляции (см. рис. 3, *в*, *г*).

Применение известных алгоритмов фильтрации для каждого кадра в отдельности не позволит в полной мере учитывать и эффективно использовать корреляционные связи между компонентами многоканальных сигналов. Разработка и применение методов и средств декорреляции таких сигналов с помощью ММ многоскоростных систем позволит существенно сжимать (с потерями или без потерь) и эффективно обрабатывать мультиспектральные сигналы дистанционного зондирования. Схожие задачи решаются при обработке ММ сигналов рентгеновской и ультразвуковой томографии.

1.3. Системы визуализации многомерных сигналов

Трехмерное телевидение. В различных областях физики, химии, биологии, аэрофотосъемки и других имеются огромные ММ наборы данных, которые необходимо визуализировать, анализировать и обрабатывать. Эти приложения нуждаются в специальных ММ средствах визуализации. Создание системы трехмерного телевидения может стать стартовой точкой для таких систем визуализации.

Современные достижения в науке и повышенный спрос со стороны приложений позволили начать разработку таких систем телевидения. Необходимо решение вопросов обработки сигналов, записи, трехмерного воспроизведения, сжатия, передачи, создания трехмерных дисплеев, а также разработки систем сжатия (с потерями и без потерь) трехмерных сеток произвольной формы и размеров, описывающих объемные объекты (рис. 4). Можно утверждать, что для решения этих вопросов эффективным будет применение только неразделимых методов обработки ММ сигналов.

Среди приложений отметим наряду с системами мультимедиа трехмерное кино, применения в медицин-

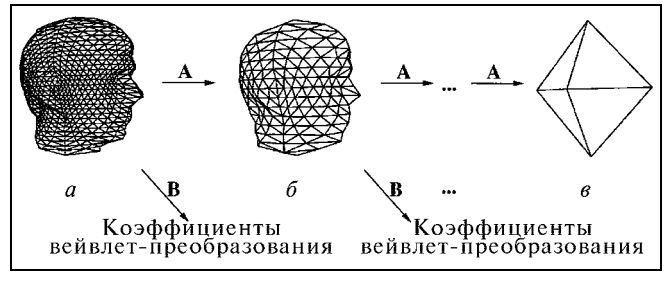


Рис. 4. Вейвлет-преобразование на ММ квазирегулярной сетке:
а — наибольшее разрешение V_n; *б* — более грубое разрешение V_{n-1}; *в* — самое грубое разрешение V_0 [9]

ских целях, в реальных трехмерных играх, телеконференции с эффектом присутствия, показ культурных ценностей.

Система обработки световых полей. В так называемой интерактивной фотореалистичной ММ графике применяется метод световых полей (light fields) для записи и воспроизведения ММ сигналов с помощью специальных камер и систем линз (рис. 5). При этом сохраняется проблема сокращения избыточности и сжатия в общем случае пяти- или четырехмерного сигнала, объем которого достигает десятков и сотен гигабайт. С этой целью в работе [10] предложено использовать иерархический алгоритм кодирования. В работе [11] впервые предложен иерархический алгоритм кодирования ММ неразделимых сигналов, который может быть применен для сжатия сигналов световых полей.

Метод трассировки лучей является одним из двух основных способов рендеринга изображения. На рис. 5 показана система регистрации светового поля. Она работает согласно алгоритму формирования трехмерных сцен, использующему законы геометрической оптики для расчета освещенности поверхности объектов. Для этого прослеживаются и регистрируются траектории лучей, исходящих от источника освещения к каждому элементу сцены, а затем к наблюдателю. Возможна также и объемная визуализация (метод формирования изображения, при котором представляется не только общий вид, но и внутреннее строение трехмерного объекта).

Зона просмотра делится на элементарные изображения размером $M \times N$ пикселей в соответствии с разрешением 3-D объекта, который будет визуализирован.

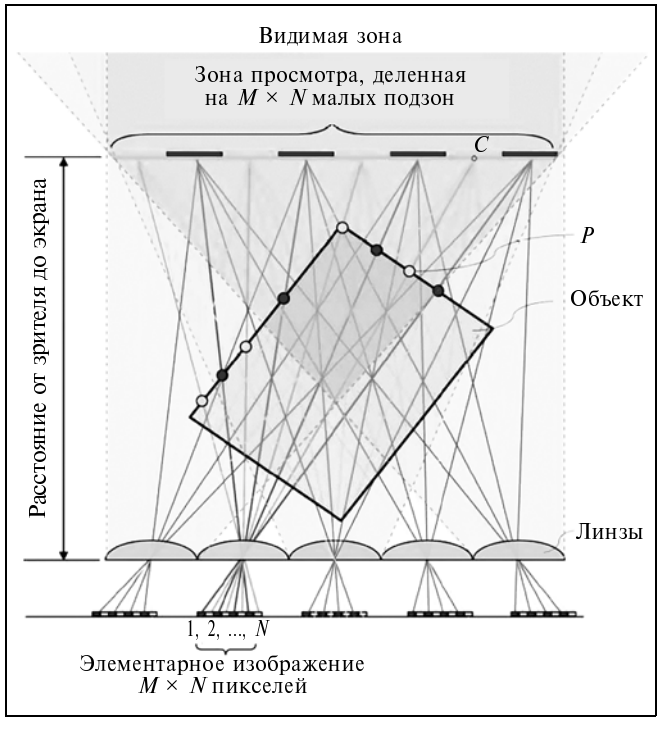


Рис. 5. Система регистрации светового поля [10]

Далее ищется точка P пересечения с объектом линии, соединяющей центр C и заданную линзу. Таким образом, точка P становится точкой на поверхности объекта. Далее определяются яркость и цвет точки P. Данная процедура повторяется для всех элементарных изображений.

2. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ПРОРЫВ. ПРЕДПОСЫЛКИ СОЗДАНИЯ ММ МНОГОСКОРОСТНЫХ СИСТЕМ

Новейшие технологии, возникшие на стыке вычислительной техники (цифровых систем на основе СБИС, сигнальных процессоров, ПЛИС и др.), электросвязи и последних достижений (алгебраической геометрии, теории нелинейного вейвлет-преобразования, теории аппроксимации), стали в технически развитых странах источником и основой исследований и разработок в области создания принципиально новых цифровых телекоммуникационных систем, способных предоставить пользователю практически неограниченные информационные услуги.

В последние 10—15 лет стали появляться теоретические работы, позволившие приступить к построению теоретических основ цифровой обработки ММ сигналов. Часть работ наших ученых (пионерские работы в этой области появлялись в свое время, в основном, в нашей стране — это работы В. А. Котельникова, А. Н. Колмогорова, В. А Якубовича, А. А. Суслина и др.) была замечена и применена за рубежом только в последние годы в связи с резко возросшей необходимостью разработки ММ цифровых систем.

Разработки в области цифровой обработки сигналов уже привели к созданию ряда стандартов (из последних можно отметить JPEG-2000 для сжатия неподвижных изображений, стандарты сжатия видео H.263x, H.264/AVC и разрабатываемый H.265, MPEG-4) и производству специализированных СБИС и сигнальных процессоров. Однако задача создания методов и средств соответствующего аппаратного комплекса для многоскоростных систем, удовлетворяющего заданным требованиям (по коэффициенту сжатия, по качеству восстановленного после сжатия сигнала, по быстродействию и др.), разработанного и реализованного в наиболее общем — неразделимом виде, и пригодного для широкого внедрения, до недавнего времени еще не была решена. Во второй части данной работы будут рассмотрены результаты синтеза таких систем с помощью полиномиального подхода, оказавшегося наиболее плодотворным среди известных. Сейчас довольно мало отечественных работ и разработок в области современных способов цифровой обработки многомерных сигналов. Эта важнейшая область мало отражена в ныне существующих программах обучения специалистов. На кафедре электрофизики в Московском энергетическим институте в течение последних 25 лет развивалась научная школа цифровой обработки сигналов. Первоначально основное внимание уделялось 1-D сигналам. Последние 10 лет именно обработка ММ сигналов является объектом исследований научной группы кафедры, что отражено в большом числе публикаций, выступлений на российских и зарубежных конференциях, в проведении собственных семина-

ров и секций на конференциях, в учебных планах преподаваемых дисциплин [11—19].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ближайшем будущем применение неразделимых многоскоростных систем в научных исследованиях и технике станет неизбежным, и они станут единственным средством эффективного решения широкого класса прикладных задач. На сегодня уже имеются некоторые результаты, позволяющие приступить к разработке и реализации таких систем. Во второй части работы будет рассмотрена задача синтеза многомерных неразделимых многоскоростных систем с помощью полиномиального подхода.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Croisier A., Esteban D., Galaud C.* Perfect channel splitting by use of interpolation/decimation/tree decomposition techniques // Intern. Confer. Inform. Sci. Syst. — Greece, 1976. — P. 443—446.
2. *Vaidyanathan P. P.* Multirate Systems and Filter Banks. — Englewood Cliffs: Prentice Hall, 1993.
3. *Woods J. W.* Subband Image Coding. — 3300 AH Dortrecht. — Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1991.
4. *Tekalp A.* Digital video processing. — Prentice Hall, 1995.
5. *Tchobanou M., Woodburn C.* Design of M-D filter banks by factorization of M-D polynomial matrices // Proc. 3rd International Conference on Information, Communications, and Signal Processing — ICICS'2001. — Singapore, 2001. — P. 111.
6. *AVIRIS* / Jet Propulsion Laboratory, CA, USA <http://aviris.jpl.nasa.gov/>.
7. *Preliminary* automatic analysis of characteristics of hypespectral AVIRIS images / V. Lukin, N. Ponomarenko, M. Zriakhov, A. Kaarna // Proc. of Intern. Conf. on Math. Methods in Electromagnetic Theory. — Kharkiv, 2006.
8. *Onural L., Smolic A., Sikora T.* An overview of a new european consortium: Integrated three — dimensional television — capture, transmission and display (3DTV) // Proc. EWIMT04, European Workshop on the Integration of Knowledge, Semantic and Digital Media Technologies. — London, 2004. — P. 25—26.
9. *Lounsbery M., Derose T. D., Warren J.* Multiresolution analysis for surfaces of arbitrary topological type // ACM Transactions on Graphics. — 1997. — Vol. 16. N 1. — P. 34—73.
10. *Light* field compression using disparity-compensated lifting and shape adaptation / C. Chang, X. Zhu, P. Ramanathan, B. Girod // IEEE Trans. Image Proc. — 2006. — Apr. — Vol. 15, N 4. — P. 793—806.
11. *Performance* improvement of hierarchical non — separable image coding algorithm (in English) / M. Tchobanou, O. Bolshakova, A. Chernikov, et al. // Первая междунар. науч.-техн. школа-семинар «Современные проблемы оптимизации в инженерных приложениях» (IWOPE — 2005). — Ярославль, 2005. — Т. 1. — С. 18.
12. *Onural L., Smolic A., Sikora T.* An overview of a new European consortium: Integrated three-dimensional television-capture, transmission and display (3DTV) // Proc. EWIMT04, European Workshop on the Integration of Knowledge, Semantic and Digital Media Technologies. — London, 2004. — P. 25—26.
13. *Lounsbery M., Derose T. D., Warren J.* Multiresolution analysis for surfaces of arbitrary topological type // ACM Transactions on Graphics. — 1997. — Vol. 16, N 1. — P. 34—73.
14. *Light* field compression using disparity-compensated lifting and shape adaptation / C. Chang, X. Zhu, P. Ramanathan, B. Girod // IEEE Trans. Image Proc. — 2006. — Apr. — Vol. 15, N 4. — P. 793—806.
15. *Бородкин Е. А., Чобану М. К.* Теоретические основы цифровой обработки сигналов. — М.: МЭИ, 1994. — 135 с.
16. *Tchobanou M.* Polynomial methods for multi-dimensional filter banks' design // Proc. X European Signal Processing Conf. EUSIPCO-2000. — Tampere, Finland, 2000.
17. *Чобану М. К., Миронов В. Г.* Состояние и перспективы развития методов цифровой обработки многомерных сигналов. Ч. 1. Теория // Электричество. — 2002. —11. — С. 58—69.
18. *Чобану М. К.* Состояние и перспективы развития методов цифровой обработки многомерных сигналов. Ч. 2. Приложения // Электричество. — 2003. — 1. — С. 58—73.
19. *Чобану М. К.* Многомерные многоскоростные системы и многомерные вейвлет функции. Ч. I. Теория // Вестник МЭИ. — 2003. — Т. 2. — С. 75—82.

☎ *(495) 362-74-63*

e-mail: cmk2@orc.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии Л. П. Боровских. ❑

Уважаемые читатели!

Если вы не успели или забыли подписаться на ***журнал "Проблемы управления"****, то через редакцию Вы можете оформить льготную подписку в любое время и с любого номера (дешевле, чем через каталоги агентств), а также приобрести номера журнала за прошедшие годы.*

Можно также заказать электронные версии как необходимого вам номера журнала, так и отдельных статей.

Обратитесь в редакцию по ***тел. (495) 334-92-00*** *или пришлите заказ по адресу (****pu@ipu.ru****) — и подписка будет оформлена за один день. Расходы по пересылке журнала редакция берет на себя. Не забудьте указать свой полный почтовый адрес!*

Наш адрес: 117997, Москва, В-342, ГСП-7, Профсоюзная ул., 65, ИПУ РАН, оф. 272.

УДК 623.4.083

РАНГОВЫЕ АДАПТИВНЫЕ МЕХАНИЗМЫ

В. В. Цыганов[(1)], М. В. Аржаков[(2)], Р. А. Багамаев[(3)]

[(1)] *Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва;*
[(2)] *ЗАО НПК «Атомтехнопром», г. Москва;*
[(3)] *Коммерческий банк «Витас», г. Москва*

Рассмотрены задачи синтеза прогрессивных адаптивных механизмов функционирования двухуровневой активной системы, Центр которой настраивает параметр решающего правила классификации. По ее результатам производится ранжирование и стимулирование дальновидного элемента системы. Найдены достаточные условия прогрессивности ранговых адаптивных механизмов для дальновидного и недальновидного Центра.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционно, основным объектом исследований в теории активных систем является двухуровневая система, на верхнем уровне которой находится Центр, а на нижнем — дальновидный элемент (ДЭ). Многие задачи управления такими системами сводятся к классификации, по результатам которой этому элементу присваивается ранг, определяющий его стимулирование. Такие механизмы были названы ранговыми [1]. В ранговом адаптивном механизме (РАМ) информация о состояниях ДЭ, получаемая в процессе управления, используется Центром для настройки параметров процедур классификации и стимулирования. Необходимость в применении РАМ возникает, когда Центр должен работать в условиях неопределенности, а имеющаяся априорная информация настолько мала, что невозможно заранее спроектировать эффективный детерминированный ранговый механизм. Теоретическое направление, связанное с построением РАМ, нашло свое отражение в монографии [2]. В РАМ часто используются эвристические процедуры настройки параметра решающего правила, подобные применяемому на практике «планированию от достигнутого». Дальновидный элемент, зная процедуры РАМ, может предсказывать будущее управление Центра, в зависимости от собственного выбора сегодня. Он выбирает состояние, при котором его целевая функция максимальна, даже если это противоречит интересам Центра. Например, ДЭ может занижать показатели своей эффективности по сравнению с потенциально возможными. Поэтому представляет интерес решение задачи синтеза прогрессивного РАМ, обеспечивающего максимальное раскрытие потенциала ДЭ.

1. ДАЛЬНОВИДНЫЙ ОБУЧАЮЩИЙСЯ ЦЕНТР

Предположим, что Центр дальновиден и обучается, настраивая параметр решающего правила при классификации так, чтобы минимизировать средние потери. Такая настройка основана на наблюдениях состояния управляемого объекта и процедурах обучения [1—3]. Как и в работе [3], обозначим через ξ случайную величину, характеризующую состояние объекта, $\xi \in \Delta \subset R^1$. Рассмотрим задачу обучения дихотомической классификации ситуаций путем отнесения их к одной из двух областей, составляющих множество Δ. Обозначим Δ_1, Δ_2 некоторое разбиение множества Δ на две области, $\bigcup_{k=1}^{2} \Delta_k = \Delta$. Задача состоит в определении разбиения, минимизирующего средний риск, связанный с классификацией. Предположим, что $q(\xi)$ — известная стационарная плотность распределения случайной величины ξ. Введем для каждой, пока неизвестной области Δ_k, $k = \overline{1, 2}$ функции потерь $F_k(c, \xi)$, где c — неизвестный параметр. Минимизируется средний риск, оценивающий качество классификации

$$J(c) = \sum_{k=1}^{2} \int_{\Delta k} F_k(c, \xi) q(\xi) d\xi \underset{c}{\mapsto} \min. \qquad (1)$$

Принадлежность ситуации ξ множествам Δ_1 или Δ_2 определяется знаком решающего правила $\mu_{12}(c, \xi) = F_1(c, \xi) - F_2(c, \xi)$:

$$\xi \in \Delta_1, \text{ если } \mu_{12}(c, \xi) < 0 \text{ и } \xi \in \Delta_2, \text{ если } \mu_{12}(c, \xi) \geqslant 0. \quad (2)$$

Положим $F_1(c, \xi) = \xi - vc$, $F_2(c, \xi) = d(c - \xi)$, где v, d — параметры функции потерь, $0 < v < 1$, $d > 0$, $vc \leqslant \xi \leqslant c$. Подставляя эти выражения в решающее правило (2), получаем его в виде

$$\xi \in \Delta_1, \text{ если } \xi < \frac{d+v}{d+1} c \text{ и } \xi \in \Delta_2, \text{ если } \xi \geqslant \frac{d+v}{d+1} c. \quad (3)$$

где параметр решающего правила c определяется решением задачи (1).

Предположим теперь, что плотность распределения $q(\xi)$ неизвестна, и непосредственное определение параметра c, как решения задачи оптимизации (1), невозможно. Возникает необходимость в настройке параметра решающего правила по наблюдениям ξ_t, где t — номер периода, $t = 1, 2...$, для минимизации среднего риска (1). Применяя метод стохастической аппроксимации для решения задачи (1), с учетом (3) можно показать, что процедура настройки оценки c_t параметра решающего правила имеет вид:

$$c_{t+1} = I^k(c_t, \xi_t) = \begin{cases} c_t + \gamma_t v \text{ при } \xi_t < \dfrac{d+v}{d+1} c_t, \\ c_t - \gamma_t d \text{ при } \xi_t \geqslant \dfrac{d+v}{d+1} c_t, \end{cases} \quad (4)$$

где γ_t — коэффициент усиления [2].

Будем предполагать, что ДЭ может выбирать свое состояние y_t, причем $y_t \leqslant \xi_t$, $t = 1, 2...$ Величину ξ_t назовем случайным потенциалом ДЭ. Дальновидный обучающийся Центр, наблюдая состояние y_t и используя процедуру обучения (4), формирует собственную оценку a_t параметра решающего правила, чтобы минимизировать средний риск. Классификация проводится путем сопоставления оценки a_t и состояния y_t. Затем определяется стимул ДЭ $\varphi_t = f(a_t, y_t)$. Тем самым дальновидный Центр формирует ранговый обучающийся механизм (РОМ) $\Sigma^k = (I^k, f)$, где I^k — процедура обучения (4), f — процедура стимулирования. Предполагается, что цель Центра состоит в синтезе прогрессивного механизма, обеспечивающего раскрытие потенциала ДЭ: $y_t = \xi_t$, $t = 1, 2...$

2. ДАЛЬНОВИДНЫЙ ЭЛЕМЕНТ

Целевая функция ДЭ в периоде t имеет вид

$$V_t = \sum_{\tau=t}^{t+T} \rho^{\tau - t} \varphi^\tau, \quad (5)$$

где ρ — коэффициент дисконтирования, используемый для приведения будущих стимулов к текущему моменту времени t, $0 < \rho \leqslant 1$; T — дальновидность ДЭ, исчисляемая в периодах времени. Поскольку цель ДЭ заключается в максимизации критерия (5), необходим прогноз потенциалов и состояний в будущем. Поскольку состояние y_τ (при заданном потенциале ξ_τ) зависит от самого ДЭ, в качестве прогнозных рассматриваются состояния, максимизирующие критерий (5). Введем оператор максимизации на множестве возможных состояний ДЭ в периоде τ: $M_\tau = \max\limits_{y_\tau \leq \xi_\tau}$. Введем также оператор E_τ устранения неопределенности относительно потенциала ДЭ в периоде τ, $\tau = \overline{t+1, t+T}$. Применение оператора E_τ к любой функции $g(\xi_\tau)$, непрерывной при $\xi_\tau \in \Delta$, определяет некоторое ее значение $g(\xi^0)$, $\xi^0 \in \Delta$: $E_\tau g(\xi_\tau) = g(\xi^0)$.

При выборе состояния y_t в периоде t, при заданном потенциале ξ_t, ДЭ должен решить задачу оптимизации критерия (5) с прогнозом потенциалов и состояний на периоды $t+1, ..., t+T$ (кратко — задачу ОППС). Иными словами, ДЭ необходимо определить оптимальную позиционную стратегию в виде набора оптимальных состояний $(\tilde{y}_t, ..., \tilde{y}_{t+T})$ как функций его потенциала в текущем и будущих периодах: $y_\tau^* = \tilde{y}_\tau(\xi_\tau)$, $\tau = \overline{t, t+T}$. После того, как ДЭ становится известно значение потенциала ξ_t, он выбирает, в качестве оптимального, состояние $y_t^* = \tilde{y}_t(\xi_t)$. Рассмотрим процедуру выбора ДЭ оптимальной позиционной стратегии $(\tilde{y}_t, ..., \tilde{y}_{t+T})$, используя метод динамического программирования. Начнем с периода $t+T$. Потенциал ДЭ ξ_{t+T} и оценку a_{t+T} зависящую от y_τ, $\tau = \overline{t, t+T-1}$, считаем заданными. С помощью оператора M_{t+T} проведем оптимизацию целевой функции (5) по y_{t+T}. Тем самым определяется состояние $y_{t+T}^* = \tilde{y}_{t+T}(\xi_{t+T})$. В периоде $t+T-1$ потенциал ξ_{t+T} неизвестен. Поэтому, перед оптимизацией целевой функции (5) по y_{t+T-1}, необходимо устранить неопределенность в отношении потенциала ξ_{t+T}. Для этого к целевой функции (5), в которой положено $y_{t+T}^* = \tilde{y}_{t+T}(\xi_{t+T})$, применяется оператор E_{t+T} устранения неопределенности в отношении потенциала ξ_{t+T}. В результате получаем «однократно усеченную» целевую функцию, которая отличается от функции (5) тем, что в ней устранена неопределенность в отношении потенциала и состояния ДЭ в периоде $t+T$.

Для устранения неопределенности в отношении потенциала и состояния ДЭ в периоде $t+T-1$, проведем оптимизацию «усеченной» целевой функции по состоянию y_{t+T-1} с помощью оператора M_{t+T-1}. Тем самым, определяется состояние $y_{t+T-1}^* = \tilde{y}_{t+T-1}(\xi_{t+T-1})$. После этого к «усеченной» целевой функции ДЭ, в которой положено $y_{t+T-1}^* = \tilde{y}_{t+T-1}(\xi_{t+T-1})$, применяется оператор E_{t+T-1} устранения неопределенности в отношении потенциала ξ_{t+T-1}. В результате получаем «двукратно усеченную» целевую функцию, в которой, по сравнению с функцией (5), устранена неопределенность в отношении его потенциалов и состояний в периодах

$t + T$ и $t + T - 1$. Повторяя эту процедуру вплоть до периода $t + 1$ включительно, получаем «T-кратно усеченную» целевую функцию $\hat{V}_t(a_t, y_t)$. Она отличается от целевой функции (5) тем, что в ней устранена неопределенность в отношении потенциалов и состояний ДЭ в периодах $t + 1, \ldots, t + T$. Формально функция $\hat{V}_t(a_t, y_t)$ определяется путем последовательного применения к критерию (5) операторов M_{t+T}, E_{t+T}, ..., M_{t+1}, E_{t+1}, устраняющих неопределенность в отношении будущих состояний и потенциалов ДЭ в периодах $t + T, \ldots, t + 1$. Полагая $M_v^{\mu} = E_v M_v \ldots E_{\mu} M_{\mu}$, $E_v^{\mu} = E_v \ldots E_{\mu}$, имеем

$$\hat{V}_t(a_t, y_t) = M_{t+1}^{t+T} V_t = \varphi_t + \sum_{\tau=t+1}^{t+T} \rho^{\tau+t} M_{t+1}^{t+T} \varphi_\tau, \ \varphi_\tau =$$

$$= f(a_\tau, y_\tau), \ a_{\tau+1} = I^k(a_\tau, y_\tau), \ \tau = \overline{t, t+T}. \qquad (6)$$

Дальновидный элемент решает задачу ОППС путем выбора состояния y_t, максимизирующего ожидаемое значение критерия $\hat{V}_t(a_t, y_t)$. При выборе состояния y_t ДЭ известен потенциал ξ_t. Множество решений задачи ОППС в периоде t как множество состояний y_t^*, при которых достигается максимальное значение ожидаемого критерия (6), имеет вид:

$$R_t(\Sigma, \xi_t) = \operatorname*{Arg\,max}_{y_t \in Y(\xi_t)} \hat{V}_t(a_t, y_t).$$

Далее предполагается, что справедлива гипотеза благожелательности ДЭ по отношению к Центру: при одинаковых значениях целевой функции ДЭ выбирает состояние, наиболее благоприятное для Центра. Тогда, если $\xi_t \in R_t(\Sigma, \xi_t)$, то $y_t^* = \xi_t$.

3. ПРОГРЕССИВНЫЙ МЕХАНИЗМ ПРИ ДАЛЬНОВИДНОМ ЦЕНТРЕ

Рассмотрим РОМ $\Sigma^k = (I^k, f)$, в котором процедура обучения (4) используется для получения текущих оценок параметра решающего правила:

$$a_{t+1} = I^k(a_t, y_t). \qquad (7)$$

Будем говорить, что РОМ $\Sigma^k = (I^k, f)$ прогрессивен, если $y_t^* = \xi_t$, $t = 1, 2 \ldots$

Теорема 1. *Для прогрессивности РОМ* $\Sigma^k = (I^k, f)$ *с процедурой настройки параметра решающего правила* (8) *достаточно, чтобы*

$$f(a_t, y_t) = \Theta(y_t - a_t(d + v)/(d + 1)) =$$

$$= \begin{cases} 1 \text{ при } y_t \geqslant a_t(d + v)/(d + 1), \\ 0 \text{ при } y_t < a_t(d + v)/(d + 1). \end{cases} \qquad (8)$$

Доказательство этой и следующей теорем дано в Приложении.

Заметим, что, условия (7) и (8) аналогичны условиям прогрессивности самообучающегося механизма, приведенным в теореме 1 работы [3]. Однако достаточность условий (7) и (8) для прогрессивности РОМ $\Sigma^k = (I^k, f)$ доказана для случая ДЭ, решающего задачу оптимизации критерия (5) с прогнозом потенциалов и состояний на периоды $t + 1, \ldots, t + T$ (задачу ОППС). Это предположение приводит к необходимости разработки особого метода доказательства, основанного на динамическом программировании и математической индукции. Таким образом, адаптивный механизм, удовлетворяющий условиям теоремы 1 работы [3], оказывается прогрессивным и при гипотезе ОППС с оператором E_τ устранения неопределенности относительно потенциала ДЭ, что существенно расширяет сферу его применимости в организационных системах.

4. НЕДАЛЬНОВИДНЫЙ ЦЕНТР

До сих пор предполагалась дальновидность Центра, понимаемая как его заинтересованность в обучении, с целью минимизации среднего риска при классификации. В РОМ будущая оценка параметра решающего правила понижается при росте состояния y_t^* ДЭ. Предположим теперь, что Центр использует эвристическую процедуру настройки, повышая оценку параметра решающего правила при увеличении состояния y_t^*. Такое «планирование от достигнутого» не способствует заинтересованности ДЭ в раскрытии своего потенциала и связано с «проклятием координации» [2]. Кроме того, такая процедура настройки параметра решающего правила не обеспечивает обучение Центра и минимизацию среднего риска при классификации. Назовем использующий ее Центр недальновидным. Задача состоит в том, чтобы найти условия прогрессивности РАМ при недальновидном Центре, использующем при настройке параметра решающего правила e_t процедуру «планирования от достигнутого»:

$$e_{t+1} = E(e_t, y_t) = \begin{cases} e_t - \beta \text{ при } y_t < e_t, \\ e_t + \beta d \text{ при } y_t \geqslant e_t, \end{cases} \qquad (9)$$

где β, d — неотрицательные величины. Согласно процедуре (9), если фактический выход y_t больше параметра e_t, то она увеличивается (и наоборот). Если $y_t < e_t$, то ДЭ относится к классу 1, в противном случае — к классу 2. По результатам классификации осуществляется ранжирование и стимулирование. Ранговый адаптивный механизм с процедурой настройки (9) будем обозначать $\Sigma^e = (E, f)$.

Рассмотрим вероятностный подход к построению критерия (6), основанный на усреднении целевой функции (5) по возможным значениям потенциала на период дальновидности ДЭ. В качестве оператора устранения

неопределенности в отношении потенциала будем пользоваться оператором математического ожидания: $E_\tau = \int_\Delta q(\xi_\tau)d\xi_\tau$, где $q(\xi_\tau)$ — плотность распределения случайной величины ξ_τ. Предполагается, что

$$q(\xi_\tau) \leqslant q^*,\ \xi_\tau \in \Delta,\ \tau = \overline{t, t+T}. \qquad (10)$$

Будем говорить, что РАМ $\Sigma^e = (E, f)$ прогрессивен, если $y_t^* = \xi_\tau$, $t = 1, 2...$

Теорема 2. *Для прогрессивности РАМ $\Sigma^e = (E, f)$ с процедурой настройки* (9) *достаточно, чтобы процедура стимулирования была ранговой*

$$f(e, y) = \Theta(y - e) = \begin{cases} 1 \text{ при } y \geqslant e, \\ 0 \text{ при } y < e, \end{cases} \qquad (11)$$

и выполнялось неравенство

$$\beta q^*(1 + d)T \leqslant 1. \qquad (12)$$

Условие (12) есть условие прогрессивности РАМ при недальновидном Центре. Оно определяет ограничения на характеристики случайного процесса, дальновидность элемента и процедуру настройки оценки параметра решающего правила, при которых ДЭ не занижает свои показатели, несмотря на недальновидность Центра. Если потенциал ξ имеет гауссово распределение ($q(\xi) = N(0, \sigma^2)$), то $q^* = 1/\sqrt{2\pi\sigma}$ и условие прогрессивности (12) имеет вид $\beta \leqslant \sqrt{2\pi\sigma}/T(1 + d)$. В случае, если потенциал распределен с одинаковой плотностью на отрезке длиной l, условие (12) имеет вид $\beta \leqslant l^2/T(1 + d)$. Для стохастического потенциала с плотностью распределения Лапласа ($q(\xi) = \exp[-|\xi|/r]/2r$) имеем $q^* = 1/2r$, и условие (12) имеет вид $\beta(1 + d)T \leqslant 2r$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Поставлены и решены задачи синтеза прогрессивных ранговых адаптивных механизмов функционирования двухуровневой активной системы, в которых Центр осуществляет настройку параметра решающего правила классификации, используя алгоритмы обучения, а также ранжирование и стимулирование. Найдены достаточные условия прогрессивности для дальновидного и недальновидного Центра. Перспективы дальнейших исследований ранговых адаптивных механизмов связаны с поиском необходимых условий их прогрессивности, а также поиском более общих постановок задач и методов их решения, в том числе на основе новых адаптивных алгоритмов.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Доказательство теоремы 1 проводится с помощью методов динамического программирования и математической индукции. Для выбора ДЭ оптимального состояния (действия) y_t^* в периоде t необходимо решить задачу ОППС, определив оптимальную позиционную стратегию $(\tilde{y}_t, ..., \tilde{y}_{t+T})$ как функцию потенциала ДЭ в текущем и будущих периодах: $y_\tau^* = \tilde{y}_\tau(\xi_\tau)$, $\tau = \overline{t, t+T}$. После того, как ДЭ становится известно значение потенциала ξ_t, он выбирает действие $y_t^* = \tilde{y}_t(\xi_t)$. Определим оптимальную позиционную стратегию ДЭ $(\tilde{y}_t, ..., \tilde{y}_{t+T})$. Целевую функцию ДЭ (5), определяемую с точностью до членов, не содержащих выбираемую в периоде τ переменную y_τ, будем для краткости называть полезностью ДЭ в периоде τ.

Определим вначале состояние $y_{t+T}^* = \tilde{y}_{t+T}(\xi_{t+T})$ в периоде $t + T$, когда потенциал ДЭ ξ_{t+T} и оценка a_{t+T} известны. Полезность ДЭ в периоде $t + T$ определяется стимулом (8): $f(a_{t+T}, y_{t+T}) = \Theta(y_{t+T} - a_{t+T})$. Ее оптимизация по y_{t+T} проводится с помощью оператора M_{t+T}. Согласно условиям (8), $\Theta(y_{t+T} - a_{t+T})$ — неубывающая функция y_{t+T} при любых ξ_{t+T}, $y_{t+T} \leqslant \xi_{t+T}$. Следовательно, множество $R_{t+T}(\Sigma, \xi_{t+T}) = \underset{y_{t+T} \in Y(\xi_{t+T})}{\operatorname{Arg\,max}} f(a_{t+T}, y_{t+T})$ действий ДЭ y_{t+T}^* в периоде $t + T$, максимизирующих полезность ДЭ в периоде $t + T$, включает в себя потенциал ξ_{t+T}. Но тогда, в соответствии с гипотезой благожелательности ДЭ по отношению к Центру, $y_{t+T}^* = \xi_{t+T}$. Значение стимула ДЭ (значение полезности) в периоде $t + T$

$$v_{t+T}^* = f(a_{t+T}, y_{t+T}^*) = \Theta(y_{t+T}^* - a_{t+T}) = \Theta(\xi_{t+T} - a_{t+T}) \qquad (T1.1)$$

зависит от a_{t+T} и, следовательно, от состояния ДЭ y_{t+T-1} в периоде $t + T - 1$. Определим теперь действие ДЭ y_{t+T-1}^*. Проведем оптимизацию полезности ДЭ в периоде $t + T - 1$ по состоянию y_{t+T-1} с помощью оператора M_{t+T-1}. Для этого необходимо знать зависимость полезности ДЭ от состояния y_{t+T-1}. Согласно функции (5), эта полезность включает в себя стимул ДЭ в периоде $t + T - 1$, определяемый согласно условиям (8), и ожидаемый стимул ДЭ (T1.1) в периоде $t + T$, зависящий от случайного потенциала ξ_{t+T}, значение которого в периоде $t + T - 1$ неизвестно. Поэтому в периоде $t + T - 1$ неизвестна и зависимость стимула ДЭ v_{t+T}^* (T1.1) от состояния y_{t+T-1}.

Для определения ожидаемого значения стимула (T1.1) в периоде $t + T$ необходимо устранить неопределенность в отношении ξ_{t+T} с помощью оператора E_{t+T}. В результате, ожидаемое значение стимула в периоде $t + T$

$$E_{t+T} v_{t+T}^* = E_{t+T}\Theta(\xi_{t+T} - a_{t+T}). \qquad (T1.2)$$

Полезность ДЭ в периоде $t + T - 1$, как функция y_{t+T-1}, согласно целевой функции (5) имеет вид суммы стимула в текущем периоде (см. выражение (8)) и дисконтированного ожидаемого стимула (T1.2) — в будущем:

$$v_{t+T-1} = \Theta(y_{t+T-1} - a_{t+T-1}) + \rho E_{t+T}\Theta(\xi_{t+T} - a_{t+T}). \qquad (T1.3)$$

Для определения множества $R_{t+T-1}(\Sigma, \xi_{t+T-1})$ оптимальных действий ДЭ в периоде $t + T - 1$ при потенциале ξ_{t+T-1} проведем оптимизацию полезности (T1.3) по y_{t+T-1} с помощью оператора M_{t+T-1}. По условиям (8), с ростом показателя

y_{t+T-1}, стимул $\Theta(y_{t+T-1} - a_{t+T-1})$ не убывает. Далее, Центр использует процедуру обучения I^k (7), при которой оценка a_{t+T} не возрастает с увеличением показателя y_{t+T-1}. Следовательно, согласно условиям (8), дисконтированный ожидаемый стимул (Т1.2) не убывает с ростом показателя y_{t+T-1}, полезность (Т1.3) — неубывающая функция y_{t+T-1}, множество $R_{t+T-1}(\Sigma, \xi_{t+T-1})$ оптимальных действий ДЭ y^*_{t+T-1} в периоде $t+T-1$, максимизирующих полезность ДЭ в периоде $t+T-1$, включает в себя потенциал ξ_{t+T-1}. Согласно гипотезе благожелательности ДЭ по отношению к Центру, если $\xi_{t+T-1} \in \in R_{t+T-1}(\Sigma, \xi_{t+T-1})$, то $y^*_{t+T-1} = \xi_{t+T-1}$. Тогда полезность ДЭ в периоде $t+T-1$, согласно выражению (Т1.3), имеет вид: $v^*_{t+T-1} = \Theta(\xi_{t+T-1} - a_{t+T-1}) + \rho E_{t+T}\Theta(\xi_{t+T} - a^*_{t+T})$, $a^*_{t+T} = I^k(a_{t+T-1}\xi_{t+T-1})$.

Далее доказательство проводится по индукции. Предположим, что для некоторого s, $t+1 \leqslant s \leqslant t+T-1$, выполняется условие $y^*_\tau = \xi_\tau$, $s \leqslant \tau \leqslant t+T-1$, и полезность ДЭ в периоде s

$$v^*_s = \Theta(\xi_s - a_s) + \sum_{\tau=s+1}^{t+T} \rho^{\tau-s} E_{s+1} \ldots E_\tau \Theta(\xi_\tau - a^*_\tau),$$

$$a^*_\tau = I^k(a_{\tau-1}, \xi_{\tau-1}), \quad \tau = \overline{s+1, t+T}. \qquad \text{(Т1.4)}$$

Докажем, что $y^*_{s-1} = \xi_{s-1}$. Для устранения неопределенности в отношении состояния y_{s-1} проведем оптимизацию полезности ДЭ в периоде $s-1$ с помощью оператора M_{s-1}. Эта полезность включает в себя стимул ДЭ в периоде $s-1$, определяемый согласно условиям (9), а также полезность ДЭ в периоде s (Т1.4), которая зависит от состояния ДЭ y_{s-1} в периоде $s-1$. Но полезность (Т1.4) зависит от случайного потенциала ξ_s, значение которого в периоде $s-1$ неизвестно. Поэтому в периоде $s-1$ неизвестна и зависимость v^*_s от y_{s-1}. Устраняя неопределенность в отношении ξ_s с помощью оператора математического ожидания E_s, получаем ожидаемое значение полезности ДЭ в периоде s:

$$E_s v^*_s = \sum_{\tau=s}^{t+N} \rho^{\tau-s} E_s \ldots E_\tau \Theta(\xi_\tau - a^*_\tau). \qquad \text{(Т1.5)}$$

Полезность ДЭ в периоде $s-1$ как функция y_{s-1}, согласно целевой функции (5), имеет вид суммы текущего стимула (см. выражение (9)) и дисконтированного ожидаемого значения полезности ДЭ в будущем (Т1.5):

$$v_{s-1} = \Theta(y_{s-1} - a_{s-1}) + \\ + \sum_{\tau=s}^{t+T} \rho^{\tau-s+1} E_s \ldots E_\tau \Theta(\xi_\tau - a^*_\tau). \qquad \text{(Т1.6)}$$

Для определения множества $R_{s-1}(\Sigma, \xi_{s-1})$ оптимальных действий ДЭ в периоде $s-1$ при потенциале ξ_{s-1} проведем оптимизацию полезности (Т1.6) по y_{s-1} с помощью оператора M_{s-1}. По условиям (8), с ростом показателя y_{s-1}, стимул $\Theta(y_{s-1} - a_{s-1})$ не убывает. Далее, Центр использует процедуру обучения I^k (7), при которой оценка a_s не возрастает с увеличением показателя y_{s-1}. Следовательно, согласно условиям (8), дисконтированный ожидаемый стимул (Т1.2) не убывает с ростом показателя y_{s-1}. Таким образом, полезность ДЭ (Т1.6) — неубывающая функция y_{s-1}. Но, согласно гипотезе благожелательности ДЭ по отношению к Центру, если $\xi_{s-1} \in R_{s-1}(\Sigma, \xi_{s-1})$, то $y^*_{s-1} = \xi_{s-1}$. Поскольку $s \geqslant t+1$, то, полагая $s = t+1$, получаем: $y^*_s = \xi_t$. Таким образом, РОМ $\Sigma^k = (I^k, f)$ является прогрессивным.

Доказательство теоремы 2 проводится методами динамического программирования и математической индукции, подобно доказательству теоремы 1. Определим вначале состояние $y^*_{t+T} = \tilde{y}_{t+T}(\xi_{t+T})$ в периоде $t+T$, когда ДЭ известны потенциал ξ_{t+T} и оценка e_{t+T}. Полезность ДЭ в периоде $t+T$ определяется стимулом (11): $f(e_{t+T}, y_{t+T}) = \Theta(y_{t+T} - e_{t+T})$. Ее оптимизация по y_{t+T} проводится с помощью оператора M_{t+T}. Согласно выражению (11), $\Theta(y_{t+T} - e_{t+T})$ — неубывающая функция y_{t+T} при любых ξ_{t+T}, $y_{t+T} \leqslant \xi_{t+T}$. Но тогда, в соответствии с гипотезой благожелательности ДЭ по отношению к Центру, $y^*_{t+T} = \xi_{t+T}$. Значение стимула ДЭ (значение полезности) в периоде $t+T$

$$v^*_{t+T} = f(e_{t+T}, y^*_{t+T}) = \Theta(y^*_{t+T} - e_{t+T}) = \\ = \Theta(\xi_{t+T} - e_{t+T}) \qquad \text{(Т2.1)}$$

зависит от оценки e_{t+T} и, следовательно, от состояния ДЭ y_{t+T-1} в периоде $t+T-1$.

Определим теперь состояние y^*_{t+T-1}, оптимизируя полезность ДЭ в периоде $t+T-1$ по состоянию y_{t+T-1} с помощью оператора M_{t+T-1}. Согласно функции (5), эта полезность включает в себя стимул ДЭ в периоде $t+T-1$, определяемый согласно выражению (11), и ожидаемый стимул (Т2.1) в периоде $t+T$, зависящий от случайного потенциала ξ_{t+T}, значение которого в периоде $t+T-1$ неизвестно. Поэтому в периоде $t+T-1$ неизвестна и зависимость стимула (Т2.1) от y_{t+T-1}. Чтобы определить ожидаемое значение стимула (Т2.1) в периоде $t+T$, необходимо устранить неопределенность в отношении потенциала ξ_{t+T} с помощью оператора математического ожидания E_{t+T}. В результате получаем математическое ожидание полезности ДЭ $\langle v^*_{t+T} \rangle$ в периоде $t+T$:

$$\langle v^*_{t+T} \rangle = E_{t+T} v^*_{t+T} = \int_\Delta \Theta(\xi_{t+T} - e_{t+T})\, q(\xi_{t+T}) d\xi_{t+T}. \qquad \text{(Т2.2)}$$

Полезность ДЭ в периоде $t+T-1$, как функция y_{t+T-1}, согласно целевой функции (5) имеет вид суммы стимула в текущем периоде (11) и дисконтированной будущей полезности (Т2.2):

$$v_{t+T-1} = \Theta(y_{t+T-1} - e_{t+T-1}) + \\ + \rho \int_\Delta \Theta(\xi_{t+T} - e_{t+T}) q(\xi) d\xi. \qquad \text{(Т2.3)}$$

Для определения действия ДЭ y^*_{t+T-1} в периоде $t+T-1$ проведем оптимизацию полезности (Т2.3) по y_{t+T-1} с помощью оператора M_{t+T-1}. Нетрудно показать, что $\dfrac{\partial v_{t+T-1}(e_{t+T-1}, y_{t+T-1})}{\partial y_{t+T-1}} = k_{t+T-1}\delta(y_{t+T-1}, e_{t+T-1})$, где

$\delta(y-e) = \begin{cases} 0, & \text{если } y \neq e, \\ \infty, & \text{если } y = e, \end{cases}$ причем $\int_0^y \delta(z-e) q(z) dz = q(e)\Theta(y-e)$,

и k_{t+T-1} удовлетворяет неравенству

$$k_{t+T-1} \geqslant 1 - \beta q^* \rho (1+d) \geqslant 1 - \beta q^* (1+d) \geqslant \\ \geqslant 1 - \beta q^* (1+d) T \geqslant 0.$$

Первое неравенство имеет место согласно предположению (10), второе — в силу неравенств $0 \leqslant \rho \leqslant 1$, третье — в силу неравенства $T \geqslant 1$ и четвертое — по условию (12) теоремы. Следовательно, $v_{t+T-1}(e_{t+T-1}, y_{t+T-1}) = k_{t+T-1}\Theta(y_{t+T-1}, e_{t+T-1})$ — неубывающая функция y_{t+T-1} при любых $y_{t+T-1} \leqslant \xi_{t+T-1}$. Но тогда, в соответствии с гипотезой благожелательности ДЭ по отношению к Центру, $y^*_{t+T-1} = \xi_{t+T-1}$. Полезность ДЭ в периоде $t + T - 1$, согласно формуле (Т2.3), имеет вид:

$$v^*_{t+T-1} = \Theta(\xi_{t+T-1} - e_{t+T-1}) + \rho\int_{\Delta}\Theta(\xi_{t+T} - e_{t+T})q(\xi_{t+T})d\xi_{t+T}.$$

Далее доказательство проводится по индукции. Предположим, что для некоторого s, $t + 1 \leqslant s \leqslant t + T - 1$, выполняется условие $y^*_\tau = \xi_\tau$, $s \leqslant \tau \leqslant t + T - 1$ и полезность ДЭ в периоде s

$$v^*_s = \Theta(\xi_s - e_s) + \int_{\tau=s+1}^{t+T}\rho^{\tau-s}\int_{\Delta}d\xi_{s+1}q(\xi_{s+1})\ldots$$

$$\ldots\int_{\Delta}d\xi_\tau q(\xi_\tau)\Theta(\xi_\tau - e_\tau). \qquad \text{(Т2.4)}$$

Докажем, что $y^*_{s-1} = \xi_{s-1}$. Для устранения неопределенности в отношении состояния y_{s-1} проведем оптимизацию полезности ДЭ в периоде $s - 1$ с помощью оператора M_{s-1}. Эта полезность включает в себя стимул ДЭ в периоде $s - 1$, определяемый согласно выражению (11), а также полезность (Т2.4), которая зависит от состояния y_{s-1} ДЭ в периоде $s - 1$. Но полезность (Т2.4) зависит от случайного потенциала ξ_s, значение которого в периоде $s - 1$ неизвестно. Устраняя неопределенность в отношении ξ_s с помощью оператора математического ожидания E_s, получаем ожидаемое значение полезности ДЭ в периоде s:

$$\langle v^*_s\rangle = E_s v^*_s = \sum_{\tau=s}^{t+T}\rho^{\tau-s}\int_{\Delta}d\xi_s q(\xi_s)\ldots\int_{\Delta}d\xi_\tau q(\xi_\tau)\Theta(\xi_\tau - e_\tau). \qquad \text{(Т2.5)}$$

Полезность ДЭ в периоде $s - 1$, как функция y_{s-1}, согласно целевой функции (5) имеет вид суммы текущего стимула (11) и дисконтированной ожидаемой полезности (Т2.5):

$$v_{s-1} = \Theta(y_{s-1} - e_{s-1}) + \sum_{\tau=s}^{t+T}\rho^{\tau-s+1}\int_{\Delta}d\xi_s q(\xi_s)\ldots$$

$$\ldots\int_{\Delta}d\xi_\tau q(\xi_\tau)\Theta(\xi_\tau - e_\tau). \qquad \text{(Т2.6)}$$

Определим действие y^*_{s-1} в периоде $s - 1$, проводя оптимизацию полезности (Т2.6) по y_{s-1} с помощью оператора M_{s-1}. Нетрудно показать, что $\dfrac{\partial v_{s-1}(e_{s-1}, y_{s-1})}{\partial y_{s-1}} = k_{s-1}\delta(y_{s-1} - e_{s-1})$ причем k_{s-1} удовлетворяет неравенствам:

$$k_{s-1} \geqslant 1 - \beta q^*\rho(1+d)\left[1 + \sum_{\tau=s+1}^{t+T}\{\rho[1 - \beta q^*(1+d)]\}^{\tau-s}\right] \geqslant$$

$$\geqslant 1 - \beta q^*\rho(1+d)\left[1 + \sum_{\tau=1}^{t+T-s}\rho^\tau\right] \geqslant 1 - \beta q^*(t+T-s)(1+d) \geqslant$$

$$\geqslant 1 - \beta q^*(1+d)T \geqslant 0.$$

Второе и пятое неравенства имеют место в силу условия (12) теоремы, третье — в силу неравенств $0 \leqslant \rho \leqslant 1$, четвертое — в силу неравенства $t \leqslant s$. Следовательно, $v_{s-1}(e_{s-1}, y_{s-1}) = k_{s-1}\Theta(y_{s-1} - e_{s-1})$ — неубывающая функция y_{s-1} при любых $y_{s-1} \leqslant \xi_{s-1}$. Но тогда, в соответствии с гипотезой благожелательности ДЭ по отношению к Центру, $y^*_{s-1} = \xi_{s-1}$. Полагая $s = t + 1$, получаем: $y^*_t = \xi_t$. Следовательно, РАМ $\Sigma^e = (E, f)$ прогрессивен.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Цыганов В .В.* Адаптивные механизмы в отраслевом управлении. М.: Наука, 1991. — 166 с.
2. *Цыганов В. В., Бородин В. А., Шишкин Г. Б.* Интеллектуальное предприятие: механизмы овладения капиталом и властью. — М.: Университетская книга, 2004. — 776 с.
3. *Агеев И. А., Гурлев И. В., Цыганов В. В.* Механизмы манипулирования корпорацией // Проблемы управления. — 2004. — № 3. — С. 34—38.

☎ *(495) 334-91-91*

e-mail: bbc@ipu.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии В. В. Кульбой. ❑

Новая книга

Новиков А.М., Новиков Д.А. Методология. — М.: СИНТЕГ. — 668 с.

С позиций системного анализа в логике современного проектно-технологического типа организационной культуры изложены основы методологии как учения об организации деятельности (научной, практической, художественной, учебной и игровой).

Предназначена для научных и практических работников, а также студентов, аспирантов и докторантов. В первую очередь — для преподавателей вузов и институтов повышения квалификации в целях использования при подготовке курсов лекций по теории систем, системному анализу, методологии научных исследований, инновационной деятельности, проектированию систем, управлению проектами и др.

Сайты авторов в Интернете — электронная библиотека (бесплатный доступ) www.anovikov@.ru ; www.mtas.ru

УДК 519

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МЕХАНИЗМА СТИМУЛИРОВАНИЯ

М. А. Щепкина

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова, г. Москва

Рассмотрены процедуры формирования коэффициентов трудового участия в трудовых коллективах в целях повышения отдачи каждого члена коллектива при ограниченном фонде вознаграждения.

ВВЕДЕНИЕ

В работах, посвященных анализу систем стимулирования в трудовых коллективах, рассматривается ситуация, когда за результаты своей деятельности каждый агент (член трудового коллектива) получает соответствующее вознаграждение. Один из механизмов поощрения, в основу которого положено распределение фонда премирования на основе коэффициентов трудового участия (КТУ), рассмотрен в работах [1—3], где в процедурах формирования КТУ используется лишь один показатель деятельности. В настоящей работе рассматривается ситуация, когда, кроме вклада агента в результаты деятельности коллектива, Центр для формирования КТУ определяет вес этого вклада.

1. МОДЕЛЬ ТРУДОВОГО КОЛЛЕКТИВА

Модель коллектива представляется в виде двухуровневой системы, состоящей из Центра (руководителя коллектива) и n агентов нижнего уровня. Стратегия агента состоит в выборе действия $x_i \in A_i$, $i \in N = \{1, 2, ..., n\}$, принадлежащего компактному множеству допустимых действий A_i. Действием агента может быть любой показатель его деятельности: число отрабатываемых часов, объем произведенной продукции, ее качество и иные характеристики. Предполагается, что по результатам своей деятельности коллектив получает премиальный фонд Φ, который распределяется между агентами в соответствии с выбранной процедурой стимулирования. Каждый агент получает вознаграждение (премию) в размере Π_i, $i = 1, ..., n$. Фонд остается неизменным на протяжении нескольких периодов функционирования. Фонд премирования в коллективе распределяется полностью, т. е. $\Phi = \sum_{i=1}^{N} \Pi_i$.

Будем считать, что i-й агент характеризуется показателем r_i, отражающим его квалификацию (эффективность деятельности), т. е. индивидуальные затраты i-го агента $z_i = z_i(x_i, r_i)$ монотонно убывают с ростом квалификации r_i, $i \in N$. Действие агента x_i будем считать принадлежащим множеству неотрицательных действительных чисел.

Коллектив, в котором квалификация всех агентов одинаковая, называется *однородным*, в противном случае — *неоднородным* [3]. Эффективность системы стимулирования будем оценивать суммой действий агентов: $K = \sum_{i=1}^{N} x_i$.

Целевые функции агентов имеют вид:

$$f_i(x_i) = \Pi_i - z_i(x_i, r_i), \quad i \in N. \tag{1}$$

2. ФОРМИРОВАНИЕ КТУ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПООЩРЕНИЯ

Простейший способ определения КТУ δ_i агента — пропорционально действию последнего, т. е.

$$\delta_i = \frac{x_i}{\sum_{j=1}^{n} x_j}, \quad i \in N. \tag{2}$$

Пусть функции затрат агентов линейны: $z_i(x_i, r_i) = x_i / r_i$. Тогда из условий (1) и (2) получаем следующее

выражение для целевой функции i-го агента, зависящей уже от действий всех агентов:

$$f_i(x) = \Phi\left(\frac{x_i}{\sum_{j=1}^{n} x_j}\right) - x_i/r_i,\ i \in N. \qquad (3)$$

Следовательно, исследуемую ситуацию можно рассматривать как игру n лиц с функциями выигрыша вида (3).

Анализ модели для однородного коллектива проведен в работе [3].

Из выражений (2) и (3) следует, что в неоднородном коллективе ситуации равновесия Нэша соответствуют следующие действия агентов:

$$x_i^* = \frac{S-(n-1)}{S^2}\Phi(n-1),\ i \in N,$$

где $S = \sum_{j=1}^{n} \frac{1}{r_j}$, а эффективность системы стимулирования определяется как

$$K = \frac{n-1}{S}\Phi. \qquad (4)$$

На практике при формировании КТУ часто учитываются не только показатель деятельности агентов, но и значения окладов или тарифных ставок. Обозначим через 3_i, $i \in N$ тарифную ставку i-го агента $i \in N$. Учитывая тарифные ставки агентов, их КТУ представим в виде

$$\delta_i = x_i/\left(3_i \sum_{j=1}^{n} \frac{x_j}{3_j}\right),\ \ i \in N. \qquad (5)$$

В этом случае ситуации равновесия по Нэшу соответствуют следующие действия агентов:

$$x_i^* = 3_i\frac{n-1}{Z}\Phi - \frac{3_i^2\Phi}{r_i}\left(\frac{n-1}{Z}\right)^2,\ \ i \in N,$$

где $Z = \sum_{j=1}^{n} \frac{3_j}{r_j}$, а эффективность системы стимулирования

$$K_1 = \frac{n-1}{Z}\Phi\left(\sum_{j=1}^{n} 3_j - \frac{n-1}{Z}\sum_{j=1}^{n}\frac{3_j^2}{r_j}\right). \qquad (6)$$

В дальнейшем, без ограничения общности, будем считать, что

$$3_1 \geqslant 3_2 \geqslant \ldots \geqslant 3_n, \qquad (7)$$

$$r_1 \geqslant r_2 \geqslant \ldots \geqslant r_n. \qquad (8)$$

Утверждение. *Если КТУ коллектива определяется из условия* (5), *справедливы условия* (7) *и* (8) *и выполняется неравенство*

$$\frac{3_1}{r_1} \leqslant \frac{3_2}{r_2} \leqslant \ldots \leqslant \frac{3_n}{r_n}, \qquad (9)$$

то эффективность системы стимулирования в ситуации равновесия по Нэшу не ниже, чем в случае, когда КТУ определяется в соответствии с выражением (2).

Доказательство. Необходимо показать, что (см. формулы (4), (6))

$$\frac{n-1}{Z}\Phi\left(\sum_{j=1}^{n} 3_j - \frac{n-1}{Z}\sum_{j=1}^{n}\frac{3_j^2}{r_j}\right) \geqslant \frac{\Phi(n-1)}{S}$$

или

$$\sum_{j=1}^{n} 3_j - \frac{Z}{S} \geqslant \frac{n}{Z}\sum_{j=1}^{n}\frac{3_j^2}{r_j} - \frac{1}{Z}\sum_{j=1}^{n}\frac{3_j^2}{r_j}.$$

Это неравенство выполняется всегда, если справедливы неравенства

$$\sum_{j=1}^{n} 3_j \geqslant \frac{n}{Z}\sum_{j=1}^{n}\frac{3_j^2}{r_j} \qquad (10)$$

и

$$\frac{Z}{S} \leqslant \frac{1}{Z}\sum_{j=1}^{n}\frac{3_j^2}{r_j}. \qquad (11)$$

Неравенство (10) перепишем в виде

$$\frac{\sum_{j=1}^{n} 3_j}{n}\cdot\frac{\sum_{j=1}^{n}\frac{3_j}{r_j}}{n} \geqslant \sum_{j=1}^{n} 3_j\frac{3_j}{r_j}/n.$$

Оно выполняется, так как, учитывая условия (7) и (9), можно утверждать, что произведение средних арифметических n положительных чисел больше или равно среднему арифметическому произведений этих чисел (неравенство Чебышева).

Теперь перепишем неравенство (11) в виде

$$\left[\sum_{j=1}^{n}\left(\frac{1}{\sqrt{r_j}}\cdot\frac{3_j}{\sqrt{r_j}}\right)\right]^2 \leqslant \sum_{j=1}^{n}\frac{1}{r_j}\cdot\sum_{j=1}^{n}\frac{3_j^2}{r_j}.$$

А это есть неравенство Коши—Буняковского.

Таким образом, справедливость неравенств (10) и (11) доказывает утверждение. ♦

Так как показатель r_i отражает квалификацию i-го агента, то можем предположить, что оклад пропорционален его квалификации, т. е. $3_i = br_i$. Такой способ расчета оклада применяется в организациях бюджетной сферы, где используется единая тарифная сетка (ЕТС).

Эффективность (6) для этого случая можем записать как

$$K_2 = \frac{n-1}{n^2}\,\Phi \sum_{j=1}^{n} r_j.$$

И для этого случая всегда справедливо неравенство $K_2 \geqslant K$.

3. ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ КТУ

Рассмотрим случай, когда КТУ каждого агента определяется как

$$\delta_i = \frac{v_i x_i}{\sum\limits_{j=1}^{n} v_j x_j}, \; i \in N, \qquad (12)$$

где v_i — коэффициент (вес), устанавливаемый Центром, характеризующий вклад i-го агента в общий результат деятельности всего коллектива.

В этом случае ситуации равновесия по Нэшу соответствуют следующие действия агентов:

$$x_i^{**} = \frac{V^2 - \dfrac{n-1}{v_i r_i}}{V^2}\,\frac{n-1}{v_i}\,\Phi, \; i \in N,$$

где $V = \sum\limits_{j=1}^{n} \dfrac{1}{v_j r_j}$ а эффективность системы стимулирования

$$K_3 = \frac{\sum\limits_{j=1}^{n} \dfrac{1}{v_j} V - \sum\limits_{j=1}^{n} \dfrac{n-1}{v_j^2 r_j}}{V^2}\,(n-1)\,\Phi. \qquad (13)$$

Теперь необходимо установить значения весов v_i, $i \in N$, при которых выражение (13) принимает максимальное значение, т. е. решить задачу

$$\frac{\sum\limits_{j=1}^{n} \dfrac{1}{v_j} V - \sum\limits_{j=1}^{n} \dfrac{n-1}{v_j^2 r_j}}{V^2} \xrightarrow[v_j \geqslant 0]{} \max. \qquad (14)$$

Решение задачи (14) записывается в виде

$$v_i = \frac{1}{Cr_i}\,\frac{(n-2)/r_i + S}{(n-2)/r_i + S}, \; i \in N, \qquad (15)$$

где $C = \text{const}$. Соответственно

$$x_i^{**} = \frac{S^2 - [(n-2)/r_i]^2}{4S^2}\,r_i \Phi, \; i \in N$$

и

$$K_3 = \frac{S\sum\limits_{j=1}^{n} r_j - (n-2)^2}{4S}\,\Phi. \qquad (16)$$

Сравнивая выражения (4) и (16), можно утверждать, что $K = K_3$ лишь в случае, когда $r_1 = r_2 = \ldots = r_n$, и применение коэффициентов v_i, $i \in N$, при формировании КТУ для повышения эффективности системы стимулирования целесообразно использовать только в неоднородном коллективе.

Определим условия, когда $v_i \leqslant v_{i+1}$. В этом случае из неравенства

$$\frac{1}{r_i}\,\frac{(n-2)/r_i + S}{(n-2)/r_i + S} \leqslant \frac{1}{r_{i+1}}\,\frac{(n-2)/r_i + S}{(n-2)/r_{i+1} + S}$$

получаем, что $r_{i+1} \leqslant r_i$. Таким образом, из решения задачи (14) следует, что при формировании КТУ вклад в общий результат деятельности агента, имеющего более высокую квалификацию, учитывается с меньшим весом, чем вклад агента, менее квалифицированного.

Сравним значения x_i^{**} и x_i^{*}. Пусть

$$\frac{S^2 - [(n-2)/r_i]^2}{4S^2}\,r_i \Phi > \frac{S^2 - (n-1)/r_i}{S^2}\,\Phi(n-1). \qquad (17)$$

Неравенство (17) выполняется, если справедливо одно из неравенств

$$\frac{1}{r_i} < \frac{1}{3n-4}\,S, \; i \in N, \qquad (18)$$

$$\frac{1}{r_i} > \frac{1}{n}\,S, \; i \in N. \qquad (19)$$

Обозначим через $G = n/S$ — среднее гармоническое показателей квалификации всех агентов. Тогда неравенства (18) и (19) можно переписать в виде

$$r_i > \left(3 - \frac{4}{n}\right) G, \; i \in N, \qquad (20)$$

$$r_i < G, \; i \in N. \qquad (21)$$

Будем считать, что агенты, для которых справедливо неравенство (21), это низкоквалифицированные специалисты (квалификация ниже среднего гармонического значения показателей r_i, $i \in N$), соответственно, агенты, для которых справедливо неравенство (20), — высококвалифицированные специалисты (квалификация выше среднего гармонического значения показателей, умно-

женного на коэффициент, больший единицы для $n > 2$ и больший двух для $n > 4$). Все остальные агенты — это специалисты средней квалификации.

Из неравенства (20) следует, что с ростом n ограничения на показатели квалификации r_i, $i \in N$, становятся более жесткими.

Пример. Пусть коллектив состоит из пяти агентов $n = 5$, $\Phi = 1000$, $r_1 = 0{,}136$, $r_2 = 0{,}138$, $r_3 = 0{,}14$, $r_4 = 0{,}17$, $r_5 = 0{,}38$. Среднее гармоническое значение показателей $G = 0{,}165$. Следовательно, первого, второго и третьего агентов можем считать низкоквалифицированными специалистами, четвертого агента — специалистом средней квалификации, а пятого — высококвалифицированным специалистом.

Если формировать КТУ каждого агента на основе процедуры (2), то в ситуации равновесия по Нэшу имеем: $x_1^* = 3{,}69$, $x_2^* = 5{,}55$, $x_3^* = 7{,}36$, $x_4^* = 29{,}39$, $x_5^* = 86{,}21$. Соответственно, $\delta_1^* = 0{,}03$, $\delta_2^* = 0{,}04$, $\delta_3^* = 0{,}06$, $\delta_4^* = 0{,}22$, $\delta_5^* = 0{,}65$ и $K = 132{,}21$. Если же формировать КТУ на основе процедуры (12), когда значения коэффициентов v_i, $i \in N$, получены из решения (14), то получим $v_1 = 7{,}35/C$, $v_2 = 7{,}29/C$, $v_3 = 7{,}32/C$, $v_4 = 6{,}42/C$, $v_5 = 3{,}61/C$. Для этого случая в ситуации равновесия по Нэшу имеем $x_1^{**} = 15{,}93$, $x_2^{**} = 16{,}69$, $x_3^{**} = 17{,}44$, $x_4^{**} = 28{,}04$, $x_5^{**} = 88{,}53$. Соответственно, $\delta_1^{**} = 0{,}10$, $\delta_2^{**} = 0{,}10$, $\delta_3^{**} = 0{,}105$, $\delta_4^{**} = 0{,}17$, $\delta_5^{**} = 0{,}53$ и $K_3 = 166{,}64$.

Таким образом, применение процедуры (12) и выбор весовых коэффициентов в соответствии с выражением (15) позволили повысить эффективность системы стимулирования на 26,04 %. При этом показатель деятельности первого агента повысился на 331,7 %, второго — на 200,6, третьего — на 137,0, пятого — на 2,69 %. Показатель деятельности четвертого агента упал на 4,6 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на то, что хотя выбор весовых коэффициентов для определения КТУ в соответствии с условием (12) в ситуации равновесия по Нэшу и обеспечивает наибольшую эффективность механизма стимулирования, реализовать эту процедуру на практике достаточно сложно, так как трудно получить точную информацию о показателях квалификации r_i. В то же время, для применения процедуры формирования КТУ (5), достаточно знать лишь диапазон изменения показателей квалификации. Если при этом тарифные ставки таковы, что при самых неблагоприятных значениях показателей квалификации из этих диапазонов выполняется неравенство (9), то уже применение этой процедуры на практике может дать положительный эффект.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Динова Н. И.* Бригадные формы оплаты труда // Механизмы управления социально-экономическими системами: Сб. науч. тр. — М., 1988. — С. 32—40.
2. *Щепкин А. В.* Внутрифирменное управление (модели и механизмы). — М.: ИПУ РАН, 2001. — 80 с.
3. *Иващенко А. А., Новиков Д. А., Щепкина М. А.* Модели и механизмы многокритериального стимулирования в организационных системах. — М.: ИПУ РАН, 2006. — 60 с.

(495) 334-90-51

e-mail: Shchepkina@mail.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии В. Н. Бурковым. ❑

Новые книги

Андреева Е.А. Вариационное исчисление и методы оптимизации. — М.: Высшая школа, 2006. — 584 с.

Босс В. Лекции по математике. — М.: 2006. — Т. 6. — 206 с.

Гультяев А.К. Восстановление данных. — СПб.: Питер, 2006. — 378 с.

Журавлёв Ю.И. «Распознавание». — М.: ФАЗИС, 2006. — 176 с. + Диск.

Компьютерная система планирования и оперативного управления эвакуацией населения при авариях на химически опасных объектах. — М.: ИПУ, 2006. — 104 с.

Малинецкий Г.Г. Нелинейная динамика. — М.: URSS, 2006. — 279 с.

Нильсен М.А. Квантовые вычисления и квантовая информация. — М.: Мир, 2006. — 822 с.

Павлов В.В. Структурное моделирование в CALS-технологиях. — М.: Наука, 2006. — 307 с.

Попов Н.А. Сущность времени и относительности. — М.: URSS, 2006. — 207 с.

Пригожин И. От существующего к возникающему. — М.: URSS, 2006. — 291 с.

Софронов И.Д. Избранные труды: Математическое моделирование и вычислительные системы. — Саров: ФГУП, 2005. — 564 с.

Уоткинс Д.С. Основы матричных вычислений. — М.: Бином, 2006. — 664 с.

Фоменков С.А. Математическое моделирование системных объектов. — Волгоград: Политехник, 2006. — 179 с.

Цыганов А.В. Интегрируемые системы в методе разделения переменных. — М.; Ижевск: Ин-т компьютер. исслед., 2005. — 384 с.

Элементарное введение в эллиптическую криптографию. — М.: URSS, 2006. — 324 с.

Эшби Р.У. Введение в кибернетику. — М.: URSS, 2006. — 432 с.

Яблонский А.А. Курс теоретической механики. — М.: Интеграл-Пресс, 2006. — 603 с.

УДК 519.865.7:339.5;330.45:519.866.2:338.516.44

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИВЕРСИФИКАЦИИ ЦЕН НА ЕВРОПЕЙСКОМ ГАЗОВОМ РЫНКЕ И СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СТРАТЕГИИ ЭКСПОРТА РОССИЙСКОГО ГАЗА

Л. Ю. Богачкова, Е. В. Савицкий

Волгоградский государственный университет

Представлено моделирование диверсификации цен природного газа с учетом рисков прерывания поставок на современных рынках Германии и Европы в целом. Выполнен численный анализ влияния либерализации рынков на эффективность экспорта российского газа. Дано дополнительное обоснование некоторых мер, принимаемых Правительством РФ и руководством ОАО «Газпром» по совершенствованию стратегии России на мировых газовых рынках.

ВВЕДЕНИЕ

Россия — основной внешний поставщик газа в Европу, доля которого в структуре европейского спроса на газ составляет около 30 % [1]. Внешние поставки газа осуществляются преимущественно на основе долгосрочных контрактов. До последнего времени европейский рынок газа характеризовался избытком предложения, однако уже в ближайшие годы ожидается превышение спроса над предложением [2, 3]. Это связано как с ростом объема потребления газа, так и с истощением его внутренних запасов в Европе. Вместе с тем, объем добычи российского газа ограничивается скорее объемами платежеспособного спроса, чем производственными возможностями [4]. Зависимость Европы от России и других «энергетических держав» потенциально возрастает, и создание механизмов противодействия этой тенденции является одним из мотивов проводимой ЕС политики либерализации газового рынка [3].

Либерализация заключается в разработке и реализации мер, направленных на развитие конкуренции и на ограничение монопольной власти отдельных субъектов рынка. На европейском рынке газа она реализуется путем диверсификации внешних поставщиков, открытия внутренних газовых рынков европейских стран для всех желающих поставщиков, предоставления потребителям права выбора поставщика, создания условий для краткосрочных сделок и биржевой торговли газом [1, 2, 5]. Диверсификация поставщиков предполагает, что поставки в любую страну должны осуществляться, как минимум, от трех различных поставщиков, причем на долю каждого из них должно приходиться не более 40 % рынка [5]. Это направлено на снижение рисков прерывания и на повышение надежности газоснабжения. Надежность поставок является важной составляющей потребительской ценности газа и может находить свое отражение в договорной цене его поставки.

В данной работе представлены результаты экономико-математического моделирования диверсификации цен природного газа с учетом рисков прерывания поставок на современном европейском рынке газа. Применяется методология моделирования, предложенная норвежскими авторами [6] в 1987 г. для обоснования замещения дорогим норвежским газом более дешевого газа, поступавшего в то время в Европу преимущественно из СССР. Авторами данного сообщения проведены численные расчеты на основе современных статистических данных о состоянии и перспективах развития газового рынка Европы. Выполнен количественный анализ влияния либерализации рынка на эффективность экспорта российского газа. Дано дополнительное теоретическое обоснование некоторых мер, принимаемых в последнее время Правительством РФ и руководством ОАО «Газпром» по совершенствованию стратегии России на мировых газовых рынках [2, 3, 5, 7].

1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДИВЕРСИФИКАЦИИ ПОСТАВЩИКОВ И ЦЕН ПРИРОДНОГО ГАЗА С УЧЕТОМ РИСКА ПРЕРЫВАНИЯ ПОСТАВОК

Рассматривается рынок природного газа [6], на котором спрос на газ предъявляет централизованный газовый покупатель, действующий в интересах конечных потребителей и имеющий некоторый объем собственно-

го производства газа. Газ предлагается несколькими внешними поставщиками. Возможности поставщиков дифференцированы как по их индивидуальным объемам предложения, так и по ценам. Поставки осуществляются на основе долгосрочных договоров, и существуют определенные риски прерывания поставок. При отсутствии этих рисков оптимальная стратегия покупателя заключалась бы в приоритетном выборе поставщика с минимальной ценой и в заключении с ним договора о максимальном объеме поставки. Учет рисков прерывания приводит к другому оптимальному решению, заключающемуся в необходимости диверсификации поставщиков и в закупках газа по различным, в том числе по завышенным, по сравнению со среднерыночными, ценам.

Предполагая, что краткосрочная и долгосрочная функции спроса изоэластичны по цене с коэффициентами s и l соответственно, $s < l$, нетрудно показать, что функция полезности централизованного газового покупателя, отражающая характерные особенности спроса на газ, может быть представлена в виде:

$$U(x, k) = \frac{A(1/l - 1/s)}{(1 - 1/s)(1 - 1/l)} k^{1-(1/l)} + \frac{A}{(1 - 1/s)} k^{(1/s)-(1/l)} x^{1-(1/s)}, \quad (1)$$

где x — совокупный объем закупок газа из всех источников за договорный период; k — емкость газового потребления, определяемая техническими характеристиками оборудования, которым снабжены потребители газа; $A > 0$ — константа.

Функции полезности (1) соответствуют следующие представления функций долгосрочного и краткосрочного спроса:

$$P = Ax^{-1/l}, \text{ где } x = k; \quad (2)$$

$$P = U'_x(x, k) = Ak^{(1/s)-(1/l)} x^{-(1/s)}, \quad (3)$$

где P — среднерыночная цена газа.

Введем следующие обозначения: W — совокупный потребительский излишек, измеряемый как разность между полезностью потребления газа и расходами на его закупку; J — общее число поставщиков; $1 \leqslant j \leqslant J$ — номер поставщика; x_j — договорный объем поставки газа из источника j; p_j — договорная цена газа, поступающего к покупателю из источника j; π_j — вероятность прерывания поставок газа из источника j; I — число всех возможных состояний с прерываниями поставок; i — номер одного из возможных состояний поставок с учетом рисков прерываний. Состояние, при котором прерывания отсутствуют, нумеруется цифрой «0», поэтому индекс i изменяется в следующем диапазоне: $0 \leqslant i \leqslant I = 2^J - 1$. Обозначим через f^i вероятность наступления одного из возможных состояний прерывания поставок. Например, для случайного состояния без прерываний эта вероятность $f^0 = (1 - \pi_1)...(1 - \pi_j)$. Выполняется соотношение $\sum_{i=0}^{I} f^i = 1$. Обозначим: x_j^i — фактический (с учетом прерываний поставок) объем закупки газа из источника j в состоянии i; $x^i = \sum_{1}^{J} x_j^i$ — совокупный объем поставок и потребления газа в состоянии i; $x^0 = \sum_{1}^{J} x_j^0$ — полное газовое потребление в состоянии без прерываний. В состоянии без прерываний реализуются контрактные объемы поставок: $x_j^0 = x_j$. По смыслу имеем: $x_j^i \leqslant x_j^0$ и можем предположить, что $x_j^i = (1 - \alpha_j^i) x_j^0$, где $0 \leqslant \alpha_j^i \leqslant 1$ — заданный параметр, равный относительному сокращению объема поставок из источника j в состоянии i.

Допустим, что рациональное рыночное поведение централизованного покупателя газа заключается в максимизации ожидаемого излишка потребителя:

$$W = \sum_{i=0}^{I} f^i \left(U(x^i, k) - \sum_{j=1}^{J} p_j x_j^i \right) \to \max, \quad (4)$$

где $x^i = \sum_{j=1}^{J} (1 - \alpha_j^i) x_j^0$.

Необходимые условия максимума в задаче (4) имеют вид:

$$\sum_{i=0}^{I} f^i (U'_k(x^i, k)) = 0, \quad (5)$$

$$\sum_{i=0}^{I} f^i (U'_x(x^i, k) - p_j)(1 - \alpha_j^i) = 0, \quad 1 \leqslant j \leqslant J. \quad (6)$$

Эти условия являются также и достаточными, поскольку целевая функция $W(x_1^0, ..., x_J^0, k)$ вогнута. Таким образом, задача (4) сводится к решению уравнения (5) и системы (6) из J уравнений. Входящие в них вероятности f^i наступления всех возможных состояний прерывания считаются известными.

Подставив в уравнение (5) частную производную по переменной k от функции полезности (1), получим:

$$k = \left(\sum_{i=0}^{I} f^i (x^i)^{1-(1/s)} \right)^{s/(s-1)}. \quad (7)$$

При известном k условия оптимальности сводятся к системе уравнений (6). Если заданы цены p_j, то эту систему можно решить относительно контрактных объемов поставок x_j^0. Если же, напротив, заданы объемы поставок x_j^0, то систему можно решить относительно цен p_j.

Подставив в систему уравнений (6) частную производную по переменной x от функции полезности (1), оптимальные значения цен можно выразить в явном виде:

$$p_j = \frac{Ak^{\frac{l-s}{sl}}\left(\sum_{i=0}^{I} f^i (x^i)^{\frac{-1}{s}} \alpha_j^i\right)}{\sum_{i=0}^{I} f^i \alpha_j^i}, \quad 1 \leqslant j \leqslant J. \qquad (8)$$

Значение коэффициента A можно рассчитать по формуле (2) или (3) в зависимости от динамики среднерыночной цены.

2. ЧИСЛЕННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИВЕРСИФИКАЦИИ ЦЕН С УЧЕТОМ РИСКОВ ПРЕРЫВАНИЯ ПОСТАВОК ИЗ РАЗЛИЧНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Рассмотрены случай национального рынка Германии и случай европейского рынка (в целом) по состоянию на 2005 г. и в перспективе до 2015 г. Статистические данные, положенные в основу моделирования, приведены в табл. 1 [8]. При расчетах полагалось $\alpha_j^i = 1$, т. е. если прерывание происходит, то оно является полным прекращением подачи газа из данного источника*.

Для рынка Германии исходные статистические данные в обозначениях модели имеют вид (см. табл. 1): $J = 4$ — число поставщиков; $x^0 = 115$ млрд м^3 — совокупный договорный объем потребления в состоянии без прерывания поставок; $y = 9{,}2$ млрд. м^3 — объем внутреннего производства газа. Договорные объемы поставок: $x_1^0 = 40{,}25$ млрд. м^3 (из России), $x_2^0 = 28{,}75$ млрд. м^3 (из Нидерландов); $x_3^0 = 23$ млрд. м^3 (из Алжира); $x_4^0 = 13{,}8$ млрд. м^3 (из Норвегии). Краткосрочный и долгосрочный коэффициенты ценовой эластичности спроса: $s = 0{,}3$; $l = 1{,}2$. Вероятности прерывания поставок из каждого источника $\pi_1 = \pi_2 = \pi_3 = \pi_4 = 0{,}05$**. Среднерыночная цена газа (в краткосрочном периоде) $P = 216$ долл./тыс. м^3. Результаты численного моделирования отражены в табл. 2.

Заметим, что при одинаковой и равной 0,05 вероятности прерывания поставок для всех поставщиков, включая Россию, цена газа возрастает в направлении убывания рыночной доли поставщика (выделенная строка в табл. 2). Самый низкий уровень имеет цена российского газа, покрывающего 35 % спроса на газ в Германии, а самый высокий уровень — цена норвежского газа, удовлетворяющего 12 % совокупного спроса. Это связано с тем, что при одинаковых рисках прерывания поставок из всех источников реальное прерывание поставки из отдельного источника приносит потребителю тем больший ущерб, чем больше мощность источника.

Табл. 2 иллюстрирует также, что с ростом риска прерывания поставок из России при фиксированных рисках прерываний для других источников цена российс-

Таблица 1

Исходные статистические данные о немецком и общеевропейском рынках газа

Среднерыночная оптовая цена, долл./тыс. м^3	Германия	Европа (в целом)	
	2005 г.	2005 г.	2015 г. (прогноз)
	216	200	325
Объемы потребления и внутреннего производства природного газа			
Потребление, млрд. м^3	115	564	668
Внутреннее производство, млрд. м^3 (доля, %)	9,2 (8)	214,32 (38)	207,08 (31)
Абсолютные, млрд. м^3 (относительные, %) объемы импорта природного газа			
Из России	40,25 (35)	152,28 (27)	237 (35,5)
Из Нидерландов	28,75 (25)	88,56 (15,7)	—
Из Алжира	23 (20)	62 (11)	100,2 (15)
Из Норвегии	13,8 (12)	48 (8,5)	56,78 (8,5)
Из других источников	—	—	80,16 (12)
Коэффициенты ценовой эластичности спроса (безразмерные, [6])			
Краткосрочный	0,3	0,3	—
Долгосрочный	1,2	1,2	—

Таблица 2

Диверсификация цен поставок газа в Германию в зависимости от степени риска прерывания поставок из России (по данным за 2005 г., при вероятности прерываний поставок из других источников, равной 0,05)

Вероятность прерывания поставок из России	Цена природного газа, долл./тыс. м^3			
	Россия	Нидерланды	Алжир	Норвегия
0,00	228,53	210,28	215,44	222,01
0,01	223,48	213,00	218,75	226,34
0,02	218,63	215,59	221,91	230,47
0,03	213,98	218,06	224,92	234,41
0,04	209,53	220,42	227,81	238,19
0,05	205,24	222,68	230,57	241,80
0,06	201,13	224,85	233,22	245,27
0,07	197,17	226,92	235,75	248,59
0,08	193,35	228,91	238,18	251,78
0,09	189,68	230,81	240,51	254,84
0,10	186,14	232,64	242,75	257,77

* Заметим, что это предположение не является ограничительным, так как несколько неполных прерываний можно приравнять к одному полному прерыванию, соизмеряя их по объемам газа, не полученным по сравнению с договорными объемами поставок.

** Эти цифры могут, в частности, означать, что поставки из каждого источника прерываются суммарно на 3 месяца за каждые 5 лет; или же это может означать, что на каждые 20 дней поставки из одного источника приходится прерывание продолжительностью в 1 день.

кого газа заметно падает, а цены других поставщиков — растут, что свидетельствует о понижении конкурентоспособности российского газа. Например, повышение риска прерывания поставок из России с 0 до 10 % приводит к понижению цены российского газа с 228,53 до 186,14 долл./тыс. $м^3$ (на 18,5 %). При этом повышаются цены газа, поступающего из Нидерландов, Алжира и Норвегии на 10,6, 12,7, и 16,1 % соответственно. Если же предположить, что риск прерывания поставок из России сведен к нулю при том же, равном 0,05, риске для других источников, то, как видно из первой строки таблицы, уровень цены российского газа заметно превысит уровни цен всех остальных поставщиков.

Таким образом, уровни цен газа, поступающего из различных источников, находятся в тесной взаимосвязи с рисками прерывания поставок и с распределениями долей рынка между поставщиками газа. Повышение риска прерывания поставок сокращает конкурентоспособность поставщика, что проявляется в снижении цены его газа при одновременном повышении цен других поставщиков. Этот эффект выражен тем сильнее, чем большая доля рынка обслуживается данным поставщиком. Для России, как наиболее крупного поставщика природного газа на европейские рынки, эти выводы представляются весьма актуальными.

Аналогичные результаты получены и для европейского рынка газа (в целом). Европейский рынок в 2005 г. был поделен между основными поставщиками природного газа следующим образом (см. табл. 1): Россия обеспечивала 27 % от совокупного объема потребления, Нидерланды — 15,7, Алжир — 11 и Норвегия — 8,5 %. Примерно на 38 % спрос на рынке Европы удовлетворялся внутренними производителями. Средняя цена российского газа в 2005 г. равнялась 180 долл./тыс. $м^3$, что на 10 % меньше общего среднего уровня цены на этом рынке, составлявшего 200 долл./тыс. $м^3$. Представляется важным заметить, что реализуемый в последнее время курс на повышение относительной цены российского газа будет убедительным для его покупателей лишь при адекватном понижении рисков прерывания поставок.

В настоящее время в Европе потребность в «голубом топливе» неуклонно растет, а его внутренняя добыча сокращается, и дефицит спроса планируется восполнять благодаря импорту газа из России, Норвегии, Азии (в перспективе) и, в меньшей мере, из стран Северной Африки (в основном, из Алжира и Нигерии). Ожидается (см. табл. 1), что к 2015 г. добыча голландского газа полностью прекратится, а доля российского газа — увеличится до 33,5 % от совокупного объема потребления. Тогда структура импорта природного газа в Европу примет следующий вид: Россия — 33,5, Алжир — 15, Норвегия — 8,5, другие поставщики — 12, местное производство — 31 %. В этом случае на основе рассмотренной модели при неизменном для всех поставщиков риске прерываний можно предсказать не повышение, а понижение цены российского газа к 2015 г.

Для дополнительной иллюстрации экономического эффекта от возрастания риска прерывания поставок российского газа на европейский рынок можно рассмотреть следующую модельную ситуацию. Предположим, что риск прерывания российских поставок возрастает в 2005 г. с 0,05 до 0,06 и сохраняется на этом повышенном уровне в течение 10 лет. Допустим, что при этом вероятности прерывания поставок из других источников остаются неизменными и равными 0,05. Тогда по нашим расчетам Россия может потерять примерно 4,85 долл. с каждой тысячи кубометров газа, экспортированной на рынок Европы. Вместе с тем, по данным табл. 1 среднегодовой объем российских поставок за эти годы составит примерно 189 млрд. $м^3$ газа. Это означает, что среднегодовой доход от экспорта газа сократится, в среднем, примерно на 916,65 млн. долл. в год. Тогда при ставке дисконтирования, равной 13 %, за десять лет доход сократится на 16,88 млрд. долл., что составляет около 50 % от 34,02 млрд. долл. — суммы среднегодового дохода Газпрома от экспорта газа в Европу за указанный период. Таким образом, увеличение риска прерывания поставок российского газа в Европу в 2005 г. с 0,05 до 0,06 и его сохранение на этом уровне за 10 лет сократит суммарную экспортную выручку Газпрома примерно на половину среднегодового дохода от экспорта газа на этот рынок.

Проведенные численные расчеты показали, что высокая степень риска прерывания поставок газа из России может служить европейским покупателям газа обоснованием целесообразности: понижения цены российского газа и снижения его доли в совокупном объеме потребления; предоставления ценовой премии конкурентам России и повышения их доли в совокупном объеме потребления. Эти меры вписываются в русло тенденций либерализации газовых рынков. Поэтому повышение степени надежности поставок российского газа является одним из важных направлений усиления его конкурентоспособности и повышения эффективности экспорта природного газа из России.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Политика либерализации газового рынка позволяет Евросоюзу в значительной степени дискриминировать цену российских поставок, объясняя этот факт меньшей надежностью и сравнительно большой долей поставок. Вместе с тем, у России есть возможности не только избежать финансовых потерь, но значительно усилить свои позиции в мировом энергетическом пространстве.

Помимо инвестиций в проекты, прямо или косвенно снижающие транспортные технологические (инфраструктурные) и страновые (транзитные) риски, эти возможности заключаются в следующих перспективных направлениях стратегии России в отношении мировых энергетических рынков [2, 3, 5, 7].

Диверсификация энергополитического партнерства. В настоящее время все российские газопроводы ведут в Европу, тогда как в структуре европейского спроса доля российского природного газа составляет около одной трети. Поэтому представляется необходимым распределение экспорта российского газа между несколькими мировыми центрами, что будет способствовать не только устойчивому развитию газового сектора экономики, но и экономической и политической безопасности страны в целом. Слабая диверсификация направлений экспорта энергоресурсов определена Правительством РФ как одна из серьезных проблем, на решение которой направлена разрабатываемая в настоящее время Программа освоения газовых ресурсов Восточной Сибири и

Дальнего Востока [7]. Программа предусматривает появление в этом регионе России новых газовых провинций, создание единой системы добычи и транспортировки газа, развитие новых юго-восточных энергетических коридоров с учетом экспорта газа на рынки стран Азиатско-Тихоокеанского региона.

Применение принципа диверсификации партнерства и к самим странам Европы. Несмотря на то, что Россия является одним из основных поставщиков газа на европейский рынок в целом, для отдельных стран удельный вес российского газа в структуре их потребления равен или близок к нулю. Вместе с тем, в соответствии с Директивой ЕС по газу, принятой в июне 2003 г., большинство стран-членов ЕС открыли или намечают полностью открыть свои внутренние рынки газа для конкуренции не позднее 2006 г. [2]. В этих условиях для Газпрома открываются новые возможности входа на отдельные участки европейского рынка. Такой стратегии отвечает проект строительства Северо-Европейского газопровода, который дотянется до перспективного рынка Великобритании, а также позволит поставлять газ в Данию, Швецию, Финляндию и ряд других стран [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. *Костюшев С.* Дания и газовые войны // Сайт Балтийского исслед. центра <http://www.brcinfo.ru> (20.01.2006).
2. *Кузнецов Д.* Рынок газа Европы: либерализация сопровождается ростом цен// Сайт ИА «Интерфакс» <http://www.interfax.ru/r/B/0/0.html?id_issue=10703851> (17.09.2004).
3. *Экономика Европы:* ЕС и Россия — топливно-энергетический вопрос // Сайт «Европа» <http://www.paneuro.ru/main/economic> (2005).
4. *Поскакухин А.* Миллер заявил, что Газпром развивается динамично // Сайт Росс. агентства междунар. инф. «РИА Новости» <http://www.rian.ru> (06.06.2006).
5. *Иогансен Н., Михайлов А.* Труба зовет // Итоги. — 2006. — № 49 (339) <http://www.Itogi.ru> (29.04.2006).
6. *Hoel M., Strom S.* Supply security and import diversification of natural gas: Reprint series. — Oslo: University of Oslo, Dep. of Economics., 1987. — N 333. — P. 151—172.
7. *Христенко В.* О новых подходах промышленной политики: Докл. на совм. заседании Коллегии Министерства и Правления РСПП от 17 апреля 2006 // Сайт Минпромэнерго РФ <http://www.minprom.gov.ru/appearance/report17> (17.04.2006).
8. *<www.gazprom.ru>, <www.paneuro.ru/main/economic>, <www.gazexport.ru>, <www.regnum.ru>, <http://usb.com.ua/common/f/Russkaya_versiya/Uslugi/Vipusk_korporativnih_obligaciy/Investoru/Analitika/utg_9m2003.pdf>, <www.usb.com.ua>, <www.rbc.ru>, <www.akm.ru>, <www.rnews.ru/news/econom/20050323>, <www.icss.ac.ru>, <www.gazeta.ru>, <www.vremya.ru/2005/223/8/140179.html>, <www.Trud.ru № 240 (22.12.2005)>.*

☎ *(8442) 40-55-26;*

e-mail: bogachkova@mail.ru; SavEugene@yandex.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии Р. М. Нижегородцевым. ❑

Новая книга

Центр исследований проблем безопасности РАН и Центр проблем стратегических ядерных сил Академии военных наук представляют книги

Цыганов В.В., Бухарин С.Н. Информационные войны в бизнесе и политике. Теория и методология. — М.: Академический проект, 2007. — 354 с.

Изложены основы теории и методологии информационных войн и приведены примеры их практического применения. Разработана система адаптивных механизмов и их упрощенных моделей — архетипов информационных войн. Комбинации этих механизмов и архетипов используются для анализа и проектирования комплексных систем управления информационными войнами в социально-экономических системах разной природы и масштаба — от предприятия и корпорации до государства и мирового сообщества. Проанализированы архетипы и механизмы информационных войн в условиях глобализации. Разработана концепция интеллектуальных механизмов ведения информационных войн, основанных на самоорганизации и адаптации.

Для государственных и политических деятелей, лидеров делового мира и средств массовой информации, ученых и специалистов в области управления, философии, экономики и социологии, профессорско-преподавательского состава и студентов социально-экономических кафедр вузов.

Бухарин С.Н., Цыганов В.В. Методы и технологии информационных войн. — М.: Академический проект, 2007. — 368 с.

Изложены методы и технологии информационных войн, основанные на разработанной авторами теории и методологии (см. предыдущую книгу). В результате изучения целей информационных войн спроектированы процедуры ситуационного анализа и алгоритмы определения стратегий информационного противоборства (в том числе провокаций). Разработаны процедуры планирования информационных операций, алгоритмы принятия решений в информационных войнах и подходы к управлению информационным противоборством. Эти методы и технологии применяются для анализа и проектирования комплексных систем управления противоборством в информационных войнах разной природы и масштаба — от корпоративных и отраслевых до региональных и национальных. Проанализированы экологические информационные войны в условиях глобализации. В приложениях приведены необходимые сведения об экспертных и статистических методах.

Для руководителей и специалистов по информационным операциям и связям с общественностью, управлению, социологии, политологии, экономике, профессорско-преподавательского состава и студентов социально-экономических кафедр вузов, а также читателей, интересующихся информационным противоборством.

По вопросам приобретения и распространения обращаться по тел. (495) 334-91-91, 687-69-04; факс (495) 334-89-11, e-mail: bbc@ipu.ru; buharinSn@yandex.ru

УДК 519.8

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ МЕХАНИЗМОВ МИНИМИЗАЦИИ АУДИТОРСКОГО РИСКА

Ю. М Гладков[1], Е. А. Микрин[2], А. Б. Шелков[1]

[1]*Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва;*
[2]*НТЦ РКК «Энергия», г. Москва*

Рассмотрена задача анализа и синтеза механизмов повышения эффективности и результативности проведения выездных документальных проверок (ревизий) по критерию минимизации аудиторского риска с использованием графовых моделей.

ВВЕДЕНИЕ

На качество аудиторских проверок значительное влияние оказывает так называемый аудиторский риск, анализ или оценка которого должна проводиться на этапе подготовки проверки экономического субъекта. Один из подходов к анализу аудиторского риска при проведении выездных проверок рассмотрен в работах [1, 2], где процесс выездной документальной проверки представлен как совокупность взаимосвязанных по информации и времени процедур. Правильность или безошибочность результатов каждой процедуры проверки обеспечивается применением принципа обратной связи.

В настоящей работе рассматривается структурно-технологический подход к решению задачи минимизации аудиторского риска с применением аппарата теории графов. Данный подход позволяет детально анализировать различные аспекты появления и распространения взаимосвязанных ошибок, их влияние на качество и достоверность результатов аудита.

1. ОПИСАНИЕ ПРОЦЕДУР АУДИТА

Процедуры аудита весьма разнообразны по своему содержанию и охватывают все стадии документальной проверки. Они могут основываться на методах, применяемых объектом аудита для выявления ошибок, а также специальных методиках получения необходимых доказательств и оценках безошибочности и достоверности данных анализируемой отчетности. Основными *аудиторскими процедурами* проверки экономического субъекта являются инспектирование, наблюдение, запрос, подтверждение, пересчет и комплекс аналитических процедур. В рассматриваемой предметной области процедура контроля и выявления ошибок, как правило, подразумевает их локализацию и идентификацию.

Под *аудиторским риском* (его иногда называют общим риском) обычно понимается вероятность наличия в бухгалтерской и иной отчетности экономического субъекта невыявленных существенных ошибок и (или) искажений после подтверждения ее достоверности или, наоборот, вероятность признания существенных искажений в ней, в то время как на самом деле такие искажения отсутствуют. Аудиторский риск прежде всего означает риск формирования неверного вывода проверяющего в случаях, когда в бухгалтерской отчетности содержатся существенные искажения [3].

Комплекс информационных процедур проверки экономического субъекта и обработки аудиторских данных представим в виде преобразования $X \xrightarrow{p} Y$, где $X = (x_1, x_2, ..., x_i, ..., x_I)$ — множество входных аудиторских данных, $Y = (y_1, y_2, ..., y_j, ..., y_J)$ — множество выходных аудиторских данных. Преобразование p ставит в соответствие каждой n-й комбинации значений входных аудиторских данных $\bar{X}_n = (x_1, x_2, ..., x_i, ..., x_I)_n$ определенную совокупность значений выходных (обработанных) данных $\bar{Y}_n = (y_1, y_2, ..., y_j, ..., y_J)_n$. Таким образом, $\bar{Y}_n = p(\bar{X}_n)$ и p: $D_1 \times D_2 \times ... \times D_I \to F_1 \times F_2 \times ... \times F_J$, где D_i— область определения значений единицы входных аудиторских данных x_i ($i = \overline{1, I}$), а F_j — область допустимых значений единицы выходных аудиторских данных y_j ($j = \overline{1, J}$). Пусть Z — множество промежуточных данных. Тогда комплекс процедур обработки аудиторских данных будем представлять в виде ориентированного графа $I(p) = G(V, E)$, множество вершин V которого соответствует множеству входных, промежуточных и выходных аудиторских данных, т. е. $V = X \cup Y \cup Z$, а множество дуг E соответствует множеству процедур обработки этих данных. Данные аудита (входные и вы-

ходные), а также процедуры их обработки и анализа будем называть элементами графа $I(p)$.

Пусть R — множество процессов, вносящих помехи в нормальную реализацию процедур аудита и приводящих к появлению недостоверных результатов. В этом случае в процессе аудита осуществляется преобразование $(p,\ R) : D_1 \times D_2 \times ... \times D_I \to F_1^1 \times F_2^1 \times ... \times F_J^1$, где F_j^l — область возможных значений y_j ($j = \overline{1, J}$). Очевидно, что область возможных значений F_j^1 может содержать недостоверные (запрещенные) значения единицы аудиторских данных y_j ($j = \overline{1, J}$). Для задания множества запрещенных значений $\hat{F} = \hat{F}_1 \times \hat{F}_2 \times ... \times \hat{F}_J$ и выявления факта принадлежности конкретных значений выходных аудиторских данных к данному множеству используется механизм контроля:

$$M = (p,\ R,\ M^K) : D_1 \times D_2 \times ... \times D_I \to$$

$$\to (F_1 \cup \hat{F}_1) \times (F_2 \cup \hat{F}_2) \times ... \times (F_J \cup \hat{F}_J),$$

причем для каждого $\bar{X}_n$ устанавливается $M(\bar{X}_n) \in F$ или $M(\bar{X}_n) \in \hat{F}$.

Информационный граф $I(p)$, определяя общую технологию обработки аудиторских данных, не дает возможности рассмотреть детально аспекты появления и распространения ошибок, их влияния на качество и достоверность результатов аудита.

Схема механизма контроля M^K представлена на рис. 1.

Механизмы контроля реализуются путем применения соответствующих методов контроля на различных этапах реализации процедур обработки аудиторских данных. Выбор методов контроля определяется структурой и технологиями аудита, критериями синтезируемых механизмов контроля, объемами выделенных ресурсов, числом и характером ошибок.

Контроль достоверности результатов реализации аудиторских процедур осуществляется путем введения определенного типа избыточности. Можно выделить структурную, временную и информационную избыточность [4]. Соответственно, различают методы контроля

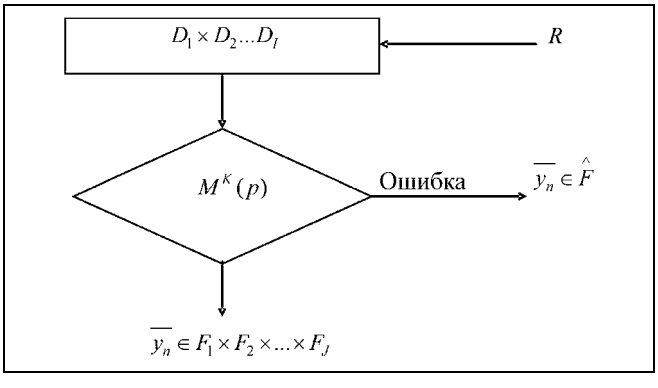


Рис. 1. Схема механизма контроля

со структурной, временной и информационной избыточностью.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В целях формализации постановок задач анализа и синтеза механизмов повышения достоверности результатов аудита перейдем от информационного графа $I(p)$ к индикаторному графу $J(p)$ и графу ошибок $\varepsilon(p)$. Пусть $I(w_i)$ — индикатор события возникновения ошибки в элементе $w_i \in W$ графа $I(p)$. С вероятностью $p(w_i)$ индикатор $I(w_i) = 1$, т. е. элемент w_i находится в состоянии ошибки. Тогда вершинами индикаторного графа $J(p)$ являются индикаторы событий возникновения ошибок в элементах w_i, т. е. базисных событий.

Множество дуг графа $J(p)$ строится по правилу: существует дуга между $I(w_i)$ и $I(w_j)$, если w_i и w_j инцидентны между собой в графе $J(p)$. Таким образом, порядок и направление дуг графа $J(p)$ соответствуют порядку и направлению множества дуг E графа $I(p)$. В графе $I(p)$ в состоянии ошибки могут находиться только его вершины, а дуги считаются абсолютно надежными. Индикаторный граф показывает, где и в какой последовательности могут возникать события ошибки, и, следовательно, является отображением технологии появления и распространения ошибок. Пусть наступление события ошибки в некотором элементе $w_i \in W$ можно отождествлять с отказом в смысле достоверности. Тогда такое событие появления ошибки будем называть *главным событием ошибки,* которое, по сути, представляет собой реализацию аудиторского риска. Очевидно, что к появлению главного события ошибки приводят различные комбинации событий ошибки вершин индикаторного графа (базисных событий ошибки). Простейшим примером такой зависимости служит зависимость, называемая «последовательным соединением», когда для наступления главного события необходимо, чтобы появилось хотя бы одно событие ошибки на индикаторном графе.

Выразим зависимость главного события ошибки от ошибки вершин индикаторного графа посредством использования логических функций И, ИЛИ. Их аргументами будут индикаторы базисных и промежуточных событий (как результаты логического взаимодействия базисных событий), а функцией — индикатор главного события ошибки.

Графическим представлением такого взаимодействия является граф ошибок $\varepsilon(p)$, вершинами которого служат индикаторы входных и выходных аудиторских данных указанных логических функций, а дуги графа отображают причинно-следственные связи между индикаторами базисных, промежуточных и главных событий ошибки. Отметим, что вершина главного события ошибки не содержит выходящих дуг.

Рассмотрим информационный $I(p)$ и соответствующий ему индикаторный $J(p)$ графы (рис. 2 и 3).

Пусть главное событие ошибки состоит в том, что нет связующего пути между вершинами a и d графа $I(p)$ (определены соответствующие комбинации базисных событий индикаторного графа, находящихся в состоянии ошибки). Соответствующий граф ошибок $\varepsilon(p)$ представлен на рис. 4. На основании этого графа определяется

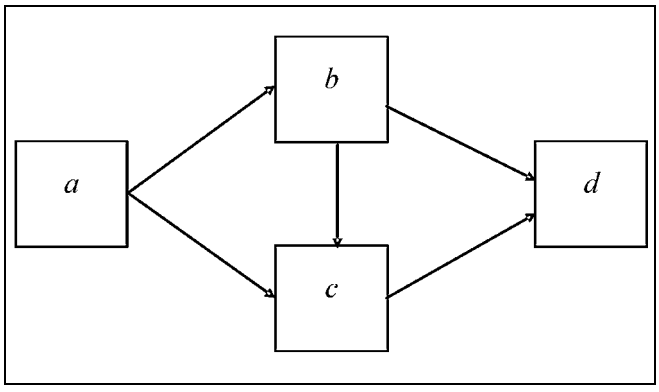


Рис. 2. Информационный граф

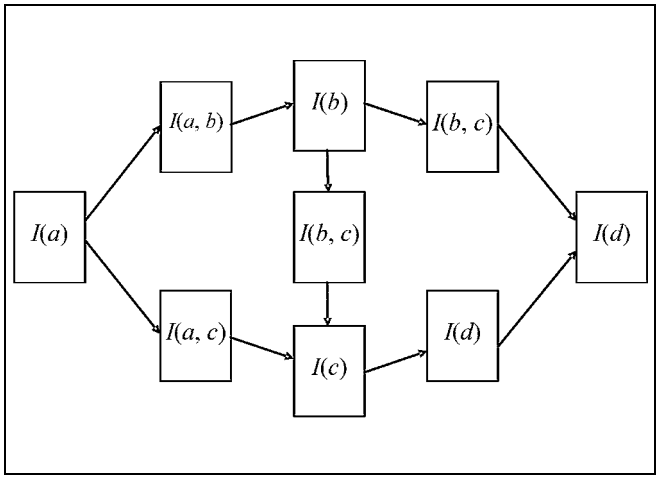


Рис. 3. Индикаторный граф

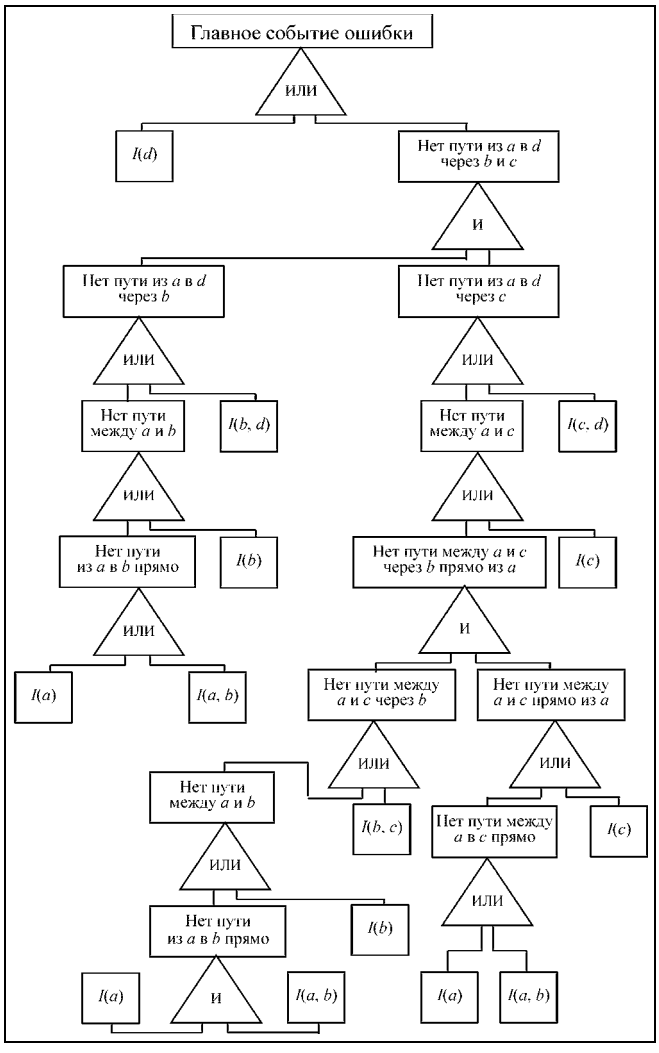


Рис. 4. Граф ошибок

возможность осуществления главного события ошибки в зависимости от наступления базисных событий.

Определение главных событий, их ранжирование и анализ причинно-следственных связей графа $\varepsilon(p)$ дают возможность нахождения базисных событий, вызывающих появление главного события, а также анализа и последующего выбора соответствующих методов контроля. Для формальной постановки задач анализа и синтеза механизмов повышения достоверности результатов аудита введем понятие *минимального пути графа*.

Разрезом назовем множество базисных событий, совместное появление которых влечет за собой появление главного события ошибки. Разрез является минимальным, если никакое его собственное подмножество не является разрезом. Если произошло главное событие ошибки, то произошли базисные события, образующие *минимальный разрез*.

Путь есть множество базисных событий, совместное непоявление которых влечет за собой непоявление главного события ошибки. Путь является минимальным, если никакое его собственное подмножество не является путем. Если главное событие не произошло, то не появились и все базисные события, образующие минимальный путь.

3. МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА МЕХАНИЗМОВ МИНИМИЗАЦИИ АУДИТОРСКОГО РИСКА

Пусть $K = \{k_1, k_2, \ldots, k_k\}$ — множество минимальных разрезов; $P = \{p_1, p_2, \ldots, p_s\}$ — множество минимальных путей; $I(Y)$ — индикатор главного события; $I(w_i)$ — индикатор базисного события w_i графа $\varepsilon(p)$. Если граф ошибок $\varepsilon(p)$ является деревом, то справедливы следующие соотношения:

$$I(Y) = 1 - \prod_{l=1}^{k}\left[1 - \prod_{w_i \in k_l} I(w_i)\right],$$

$$I(Y) = \prod_{r=1}^{S}\left\{1 - \prod_{w_i \in p_r} [1 - I(w_i)]\right\},$$

которые определяют зависимости главного события ошибки от базисных событий через множество минимальных разрезов и путей.

Алгоритм нахождения минимальных разрезов графа $\varepsilon(p)$ состоит в определении минимальных разрезов для каждой логической схемы графа $\varepsilon(p)$ и их последовательном логическом преобразовании до получения минимальных разрезов в терминах базисных событий ошибки. Работа алгоритма начинается со схемы главного события ошибки и продолжается сверху вниз, слева направо. Пусть $\overline{N}$ — номер схемы главного события ошибки, $K = \{k_1, k_2, ..., k_k\}$ — множество минимальных разрезов.

Шаг 1. $K = \{(\overline{N})\}$.

Шаг 2. Из множества $K = \{k_1, k_2, ..., k_n\}$ выделяется множество k_i, элементом которого является некоторая схема N, и определяется множество ее минимальных разрезов. Примерами могут служить множество минимальных разрезов схемы И из одного подмножества, включающего все входы этой схемы; множество минимальных разрезов схемы ИЛИ, включающее в себя минимальные разрезы, имеющие один вход.

Пусть $N_1, N_2, ..., N_k$ — номера схем и базисных событий, являющихся входами рассматриваемой схемы N. Во множестве k_i заменим рассматриваемую схему N ее минимальными разрезами следующим образом: $M = \{(k_i - N) \cup K_l^*\}_l$, $l = \overline{1, L^*}$, где L^* — число минимальных разрезов схемы N, а K_l^* — минимальный разрез, рассматриваемый на множестве входов $(N_1, N_2, ..., N_k)$ этой схемы. Число элементов множества M равно числу минимальных разрезов схемы N.

Шаг 3. Конструируется множество $(K - k_i) \cup M$, в котором схема N заменяется множеством ее минимальных разрезов. На множествах имеющихся и полученных минимальных разрезов схем определяются глобальные минимальные разрезы для данного шага.

Шаг 4. Если полученные глобальные минимальные разрезы содержат логические схемы, идти к шагу 2; в противном случае работа алгоритма заканчивается.

Для нахождения множества минимальных путей достаточно перейти к графу, полученному из графа $\varepsilon(p)$ заменой логической функции И на ИЛИ и наоборот, и воспользоваться приведенным выше алгоритмом.

Под уровнем ошибки $L_{lv}(Y)$ главного события будем понимать вероятность появления главного события ошибки. Уровень ошибки является основной характеристикой используемых механизмов контроля. Назовем механизм контроля эффективным, если $L_{lv}(Y) \leqslant \varepsilon$, где ε — допустимый уровень вероятности появления главного события ошибки.

Задача анализа механизма контроля состоит в определении уровня вероятности появления главного события ошибки в зависимости от вероятностей $p(w_i)$ базисных событий и сравнении его с допустимым. Для произвольных древовидных структур графа $\varepsilon(p)$ в общем случае точное определение значения $L_{lv}(Y)$ затруднительно. При независимых базисных событиях ошибки можно определить точную верхнюю и нижнюю границы уровня ошибок $L_{lv}(Y)$:

$$\prod_{r=1}^{S}\left\{1 - \prod_{w_i \in p_r}[1 - p(w_i)]\right\} \leqslant L_{lv}(Y) \leqslant$$

$$\leqslant 1 - \prod_{l=1}^{k}\left[1 - \prod_{w_i \in k_l} p(w_i)\right]. \qquad (1)$$

Из данного выражения следует, что для повышения эффективности механизма контроля необходимо уменьшить вероятности появления базисных событий ошибки, что достигается использованием более совершенных методов контроля, введением различных видов избыточности в структуру процедур и технологий аудита.

Задачи разработки механизмов обеспечения достоверности результатов аудита состоят в том, чтобы создать технологическую структуру обработки, позволяющую достичь заданного (максимального) уровня достоверности, либо *минимального уровня аудиторского риска* с учетом затрат на разработку и функционирование механизмов контроля, на исправление ошибок и на потери при использовании недостоверных данных. При этом основными являются ограничения на временные и стоимостные ресурсы.

Разработка, внедрение и эксплуатация методов и механизмов контроля достоверности аудиторских данных требуют в любом случае определенных временных и стоимостных затрат, привлечение персонала к выполнению некоторых контрольных операций. Поэтому при выборе оптимального механизма контроля следует учитывать имеющиеся ресурсы, характеристики методов и механизмов контроля и связи между этими методами.

Задача синтеза механизма контроля по критерию минимизации аудиторского риска или максимизации достоверности результатов аудита обычно заключается в выборе методов контроля в базисных вершинах графа ошибок, при использовании которых уровень ошибки $L_{lv}(Y)$ минимален при ограничениях на временные, стоимостные затраты и другие виды ресурсов. Поскольку получение аналитического вида функции $L_{lv}(Y)$ в общем случае затруднительно, то в качестве целевой функции будем рассматривать уменьшение $\Delta L_{lv}(Y)$ уровня ошибки, которое происходит при использовании методов контроля в базисных вершинах графа и которое необходимо максимизировать по абсолютной величине. Возможность такой замены следует из разложения функции $L_{lv}(Y)$ в ряд Тейлора. Ограничившись линейной аппроксимацией, получим:

$$\Delta L_{lv}(Y) = \Delta L(\overline{P}) = L(\overline{P} + \overline{\Delta}) - L(\overline{P}) =$$

$$= \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{\partial L(\overline{P})}{\partial P_i}\right)\Delta_i + ...,$$

где $\bar{P} = (p_1, p_2, ..., p_n) = \{p(w_1), p(w_2), ..., p(w_n)\}$; $\frac{\partial L(\bar{P})}{\partial P_i} = L(1, \bar{P}) - (0, \bar{P}) = \chi_i$ — показатель маргинальной значимости события ошибки элемента w_i. Тогда

$$\Delta L(\bar{P}) \approx \sum_{i=1}^{n} \chi_i \Delta_i, \qquad (2)$$

причем Δ_i — изменение (уменьшение) вероятности $p_i = p(w_i)$, вызванное применением в i-й базисной вершине некоторого определенного метода контроля, а для вычисления приближенных значений показателей χ_i будем пользоваться выражением:

$$\chi_i = \sum_{\substack{k_k \in k(w_i) \\ k_S \in k(w_i) - k_k}} \left[\min \left\{ \bigcup_{j \in k_s} p_j \right\} \right] \prod_{\substack{j \in k_k \\ w_j \neq w_i}} (1 - p_j), \qquad (3)$$

где $k(w_i)$ — множество минимальных разрезов, содержащих событие ошибки элемента w_i, а $\cup p_j = 1 - \prod(1 - p_j)$.

Можно показать, что использование выражений (2) и (3) для нахождения величины $\Delta L(\bar{P})$ дает более точный результат по сравнению с использованием для этой же цели выражения (1) [4].

Введем переменные

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, \text{ если на } i\text{-й базисной вершине графа } \varepsilon(p) \\ \text{используется } j\text{-й метод контроля, } j = \overline{1, m_i}; \\ 0 \text{ в противном случае,} \end{cases}$$

и величины: Δ_{ij} — уменьшение вероятности события ошибки элемента w_i, вызванное применением j-го метода контроля; τ_{ij} и c_{ij} — соответствующие временные и стоимостные затраты j-го метода контроля для элемента w_i; T и C — ограничения на временные и стоимостные затраты.

Тогда задача синтеза механизма контроля, обеспечивающего минимизацию аудиторского риска или повышение достоверности обработки аудиторских данных, может быть представлена в виде:

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m_i} \chi_i \Delta_{ij} x_{ij} \to \max$$

при ограничениях:

— на временные затраты, связанные с контролем

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m_i} \tau_{ij} x_{ij} \leqslant T;$$

— на структуру контроля $\sum_{j=1}^{m_i} x_{ij} \leqslant 1$;

— на стоимостные затраты, связанные с контролем

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{m_i} c_{ij} x_{ij} \leqslant C.$$

Здесь m_i — число методов контроля, которые можно применять в вершине i.

Ограничение на структуру механизма контроля обеспечивает применение в каждой вершине графа $\varepsilon(p)$ не более одного метода контроля. При одновременном применении более одного метода их объединяют в один «метод» и соответствующим образом корректируют временные, стоимостные и вероятностные характеристики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для формализованной постановки рассматриваемых задач разработаны специальные графовые структуры, с применением которых указанные задачи сводятся к нахождению путей на этих графах, обеспечивающих экстремум используемого критерия эффективности. Для этой цели применяется алгоритм нахождения кратчайшего пути на графе [5].

Предложенная формализованная методология охватывает достаточно широкий класс задач, возникающих при планировании и реализации комплексов аудиторских процедур проверки экономических субъектов, таких как инспектирование (проверка записей, документов или материальных активов), наблюдение (отслеживание аудитором процесса или процедуры, выполняемой уполномоченными лицами на объекте аудита), запрос (поиск информации в пределах или за пределами объекта аудита), подтверждение (анализ ответа на запрос), пересчет (проверка арифметических расчетов аудируемого лица или организации), анализ и оценка полученной в процессе аудита информации и др.

Разработанные методы и модели позволяют проводить детальный анализ различных аспектов появления и распространения ошибок, а также количественную оценку возникающих при этом аудиторских рисков и могут служить основой для решения задач выбора оптимальных методов контроля при реализации аудиторских процедур различного типа.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Шелков А. Б., Пелихов В. П., Гладков Ю. М.* Методы анализа и оценки аудиторского риска при проведении выездных документальных проверок // Проблемы управления. — 2006. — № 5. — С. 48—51.
2. *Шелков А. Б., Гладков Ю. М.* Минимизация аудиторского риска при проведении выездных проверок в системе обязательного социального страхования // Материалы междунар. науч. конф. «Проблемы регионального и муниципального управления». — М., 2006. — С. 289—291.
3. *Шеремет А. Д., Суйц В. П.* Аудит. — М.: Инфра-М., 2005. — 448 с.
4. *Информационная* безопасность систем организационного управления. Теоретические основы: в 2 т. / Под ред. Н. А. Кузнецова, В. В. Кульбы. — М.: Наука, 2006. — Т. 1. — 495 с.; Т. 2. — 437 с.
5. *Ермольев Ю. М., Мельник И. М.* Экстремальные задачи на графах. — Киев: Наук. думка, 1967.

☎ *(495) 334-89-59*

e-mail: shelkov@ipu.ru, urglad@ipu.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии В. В. Кульбой. ❑

УДК 519.816

АЛГОРИТМ ОЦЕНКИ ПРОЕКТОВ ПОСТРОЕНИЯ АНТИТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА В СИСТЕМЕ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ

А. С. Самохина

Институт проблем управления им. В. А.Трапезникова РАН, г. Москва

Рассмотрены методы и алгоритмы, применяемые в системе поддержки принятия решений в целях определения, оценки и выбора задач и проектов для проведения антитеррористического мониторинга по предотвращению биотеракторов.

ВВЕДЕНИЕ

В последнее десятилетие внимание политиков, военных и гражданских специалистов к проблеме биологического терроризма постоянно усиливается. Обсуждаются возможные биологические агенты вирусной и бактериальной природы, анализируются возможные варианты противодействия применению этих агентов и обеспеченность эпидемиологических служб подготовленным персоналом, диагностическими и лечебными средствами. Обсуждается также построение системы предупреждения, противодействия и ликвидации последствий биологической чрезвычайной ситуации (БЧС).

Сценарии биотеракторов крайне неоптимистичны как в смысле человеческих потерь, так и затрат на ликвидацию прямых последствий такой акции, а также потерь от дезорганизации экономики региона и последствий психологического воздействия на население. Применение компьютерной техники при принятии решений по предупреждению, противодействию и ликвидации последствий биотеракторов крайне необходимо, так как время играет решающую роль в нанесении ущерба от такого вида терроризма.

Построение системы предотвращения БЧС включает в себя выполнение определенных действий по созданию новых и изменению существующих структур [1, 2]. Такого вида деятельность можно представить в виде проектов. Под проектом будем понимать ограниченное во времени целенаправленное изменение отдельной системы с установленными требованиями к качеству результатов, возможными рамками расхода средств и ресурсов и специфической организацией [3]. Каждый проект предполагает решение многочисленных задач. Проект является уникальным мероприятием, включающим в себя некоторые, неизвестные ранее составляющие, поэтому особую роль в управлении проектами играют экспертные группы (ЭГ), снабженные инструментом — системой поддержки принятия решений (СППР).

Перед экспертной группой, выбирающей проект создания системы предупреждения, противодействия и ликвидации последствий биотеракта и, в частности, антитеррористического мониторинга (АМ) — одной из функций — системы предотвращения БЧС, стоят следующие задачи:

- оценить ситуацию в целом и значимость отдельных составляющих;
- определить стратегические цели АМ;
- рассмотреть возможные проекты по осуществлению АМ, оценить соответствие результатов работы проектов стратегическим целям, проанализировать последствия и эффективность каждого проекта;
- выбрать решение, наилучшее с точки зрения ЭГ.

Для выполнения этих задач с помощью компьютера необходимо использовать формализованные человеко-машинные процедуры, описанные далее.

1. АНАЛИЗ СИТУАЦИИ В ЦЕЛОМ

Для анализа ситуации в целом надо сформировать набор критериев оценки ситуации для последующего выбора проекта АМ. Каждый член ЭГ с помощью подсказок меню компьютерного интерфейса в виде таблиц для экспертной оценки факторов, имея возможность их расширения и сокращения, определяет набор критериев оценки ситуации, исходя из принятых стандартов и своих предпочтений. Критерии могут быть следующими:

— P_1 — внешняя политическая ситуация, проблемы внешней политики;

— P_2 — отношения со странами, граждане которых участвовали в террористических актах;

— P_3 — политическая ситуация внутри страны;

— P_4 — выявление сил, заинтересованных в биотеракте;

— P_5 — оценка экономической ситуации в стране на предмет построения инфраструктуры АМ (развертывание диспетчерской службы, частота и плотность забора проб воздуха, воды и почвы силами санитарной службы, создание и поддержание единой базы данных, создание компьютерной информационной сети и системы принятия решений и т. д.);

— P_6 — наличие «узких мест» в медицине, фармакологии;

— P_7 — наличие «узких мест» в безопасности значимых объектов, а также в охране биологических и вирусологических лабораторий;

— P_8 — отношение со средствами массовой информации — их помощь или противодействие проводимым антитеррористическим действиям.

2. АЛГОРИТМ СОГЛАСОВАНИЯ СПИСКА КРИТЕРИЕВ

Алгоритм согласования экспертами списка критериев оценки ситуации заключается в следующем:

— каждый член ЭГ вырабатывает свой список критериев, которыми можно оценить ситуацию, с целью последующего принятия решений по осуществлению АМ — множество P_i, $i = 1, 2, ..., n$;

— каждый член ЭГ знакомится со всеми другими списками;

— член ЭГ создает обновленный список критериев с учетом, или без него, чужих списков — это множество P_i, $i = 1, 2, ..., n$;

— составляется объединенный список с учетом списка каждого члена ЭГ — это множество $P = \bigcup_{i=1}^{n} P_i$.

Каждому критерию P_i каждый член ЭГ присваивает его важность σ_i и значение критерия α_i, формируя табл 1. Всего будет N таблиц, где N — число экспертов.

Таблица 1

Таблица критериев *k*-го эксперта

Критерий	Важность критерия	Значение критерия
P_1	σ_1^k	α_1^k
P_2	σ_2^k	α_2^k
...	...	...
P_n	σ_n^k	α_n^k

3. ВЫЧИСЛЕНИЕ ФУНКЦИИ КАЧЕСТВА

Используя критерии, важности и значения критериев, можно рассчитать функцию качества обстановки в целом для одного эксперта $\Phi^k = \sum_{i=1}^{n} \sigma_i^k \alpha_i^k$ и усредненную функцию качества $\overline{\Phi}^k = \Phi^k / n$ для одного эксперта.

Усредненная функция качества для N экспертов выглядит следующим образом:

$$\overline{\Phi} = \sum_{k=1}^{N} \overline{\Phi}^k / N.$$

Функция качества, рассчитанная для единичного случая, не является информативной, но в динамике она несет большую информацию, например, можно увидеть, как изменяется функция качества во времени по регионам одной страны, по странам.

4. ГЕНЕРИРОВАНИЕ ЗАДАЧ ДЛЯ ВЫПОЛНЕНИЯ АНТИТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

После того, как с помощью СППР члены ЭГ оценили сегодняшнюю ситуацию, исследовали ее динамику, сравнили с обстановкой в соседних регионах, после оценки потенциальной опасности, которая может возникнуть вследствие неисполнения мер АМ, члены ЭГ определяют задачи (работы, операции), входящие в АМ, ранжируют их по приоритетам исполнения, по материальным и временным затратам. Эти задачи могут переплетаться между собой самым причудливым образом: объединяться, противоречить друг другу, требовать компромисса, быть взаимоисключающими и т. д. Наборы таких задач образуют проект.

Компьютерная поддержка формирования списка задач, входящих в проект, может включать в себя:

— создание списка возможных задач;

— определение списка критериев для оценки этих задач;

— определение веса критерия для каждой задачи;

— ранжирование задач по критериальным оценкам;

— построение возможных пластов, деревьев задач;

— проверка непротиворечивости критериев формируемых задач;

— проверка реализуемости поставленных задач;

— оценка и выбор задач, выполнение которых поможет осуществлять АМ, включение их в проект.

Для выполнения АМ можно выделить задачи создания:

— компьютерной системы поддержки принятия решений при БТ — A_1;

— диспетчерской службы сообщения о БЧС — A_2;

— автоматизированной информационно-управляющей системы профилактики и ликвидации последствий БЧС — A_3;

— передвижных фармакологических лабораторий — A_4;

— автоматизированной системы диагностики инфекционных заболеваний — A_5;

— системы мониторинга средств массовой информации — A_6;

— единой информационной системы «Поликлиника» — A_7.

Все задачи, относящиеся к АМ, требуют очень больших затрат, поэтому выбор приоритетных направлений является ответственной обязанностью членов ЭГ. Согласование списка начинается с того, что на дисплеях членов ЭГ возникает список задач, решение которых поможет осуществить АМ. Каждый член ЭГ может дописать новые задачи, не вычеркивая уже написанные. Принятыми к обсуждению будут считаться все задачи из списка.

Для согласования списка задач АМ каждый член ЭГ вырабатывает свой список задач, входящих в АМ — множество A_i' ; знакомится со всеми другими списками; создает обновленный список задач с учетом, или без него, чужих списков — множество A_i.

Затем составляется объединенный список с учетом списка каждого члена ЭГ — множество $A = \bigcup_{i=1}^{l} A_i$.

5. СОГЛАСОВАНИЕ КРИТЕРИЕВ ЗАДАЧ АНТИТЕРРОРИСТИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Для оценки сил и средств, необходимых для решения каждой задачи A_i, составляются характеризующие ее критерии P_{ij}^k, где k — эксперт, i — номер задачи из списка задач, j — номер критерия для выбранной задачи. Критерии для каждой задачи разные, но могут быть общие, например:

— P_1 — существующее состояние, задел;

— P_2 — время, необходимое для решения поставленной задачи;

— P_3 — финансовые ресурсы, необходимые для решения поставленной задачи;

— P_4 —сбалансированность списка задач и каждой задачи из списка;

— P_5 —наличие резерва профессионалов, необходимых для решения поставленной задачи;

— P_6 — эффективность влияния рассматриваемой задачи на АМ.

В список критериев могут быть внесены: число людей, требуемых для выполнения работы, технические средства, объем выполняемой работы и др.

Путем согласования и объединения всех критериев по каждой задаче вырабатывается объединенный список критериев $P_{ij} = \bigcup_{i=1}^{n} P_{ij}^k$. Алгоритм согласования списка критериев задач аналогичен алгоритму согласования списка задач. Для всех рассматриваемых задач список критериев может быть разным.

6. ОЦЕНКА ВАЖНОСТИ ЗАДАЧИ

Критерии $P_1, \ldots, P_n$ должны быть ранжированы путем совместных действий СППР и экспертов. Алгоритм ранжирования аналогичен как для одного эксперта, так и для совместного решения k экспертов. Оценить и ранжировать несколько объектов, если их больше пяти, очень сложно, так как приходится одновременно оперировать многими понятиями. Парное же сравнение объектов не вызывает трудностей [4].

Таблица 2

Таблица парных сравнений критериев по важности

—	P_1	P_2	P_3	…	P_n
P_1	0	−1	3	…	−3
P_2	1	0	−1	…	1
P_3	−3	1	0	…	3
…	…	…	…	…	−1
P_n	3	−1	−3	1	0

Каждый эксперт заполняет таблицы парных сравнений (табл. 2), т. е. имеем k таблиц, элементы которых p_{ij}^k определяются следующим образом:

— если P_i важнее P_j, то $p_{ij}^k = 1$;

— если P_i значительно важнее P_j, то $p_{ij}^k = 3$;

— если P_i менее важно, чем P_j, то $p_{ij}^k = -1$;

— если P_i существенно менее важно, чем P_j, то $p_{ij}^k = -3$;

— если P_i равноценно P_j, то $p_{ij}^k = 0$.

Эксперты заполняют только треугольную нижнюю матрицу, верхнюю треугольную матрицу система заполняет автоматически в силу соотношения $p_{ij}^k = -p_{ij}^k$.

Если имеются N экспертов, то усредненные функции парных сравнений по важности p_{ij}^k определяются следующей формулой:

$$p_{ij}^k = \left(\sum_{k=1}^{N} p_{ij}^k \right) / N.$$

В решении задач ранжирования важно не попасть в конфликтную ситуацию, когда a более важно, чем b, b более важно, чем c, а c более важно, чем a. Математических методов согласования конфликтов нет, поэтому конфликтные ситуации просто не рассматриваются. Ниже предлагается алгоритм ранжирования на основе максимизации функции качества, другими словами, определяется такая последовательность, которая будет наилучшей в рамках данной информации.

Алгоритм построения линейной иерархии основан на максимизации функционала качества:

$$F(i_1, i_2, \ldots, i_n) = \sum_{l=1}^{n-1} \sum_{m=2}^{n} p(i_l, i_m).$$

Таким образом, перебирая все возможные расположения объектов, каждый раз находим число, которое соответствует этому расположению объектов.

Наилучшее ранжирование объектов определяется из условия максимизации функционала качества

$$F_{\max} = \max_{i_1, \ldots, i_n} F(i_1, \ldots, i_n).$$

Если задача корректная, т. е. нет конфликтов, то этот метод дает точное решение поставленной задачи.

Рассмотрим конкретный пример задачи создания диспетчерской службы. Для наглядности, рассмотрим только четыре критерия: P_1 — существующее состояние, т. е. задел; P_2 — время, выделенное для построения диспетчерской системы; P_3 — выделенные финансы; P_4 — профессионалы, необходимые для создания системы. Для простоты вместо P_1, P_2, P_3 и P_4 будем записывать 1, 2, 3 и 4. Запишем матрицу парных оценок важности критериев (табл. 3).

Таблица 3

Таблица парных сравнений критериев по важности для задачи создания диспетчерской службы

Критерий	1	2	3	4
1	0	+3	+1	+3
2	−3	0	−3	0
3	−1	+3	0	+3
4	−3	0	−3	0

Вычислим функционал качества парных сравнений и определим, что максимальные функции качества относятся к последовательностям (1, 3, 2, 4) и (1, 3, 4, 2).

Таким образом, видим, что основным критерием является существующее состояние диспетчерской системы; следующим по важности критерием являются финансы, выделенные для разработки диспетчерской системы; время решения задачи и профессионалы, необходимые для ее решения, — критерии одного порядка.

Однако число вычислений в этом случае $n!$, поэтому этот алгоритм может быть применен для значений n порядка 10, при больших значениях n он требует слишком больших вычислительных ресурсов.

Опишем эвристический алгоритм построения линейной иерархии объектов, который может быть применен при любых реальных значениях n.

Алгоритм состоит в последовательном размещении объектов в соответствии с линейной иерархией.

Шаг 1. Сравниваются объекты P_1 и P_2 по парной функции предпочтения, например: $P_2 \to P_1$.

Шаг 2. Объект P_3 сравнивается с первым объектом построенной иерархии, в данном случае с объектом P_2. Если объект P_3 предпочтительней объекта P_2, то получаем: $P_3 \to P_2 \to P_1$.

В противном случае в зависимости от сравнения объектов P_3 и P_1 могут быть следующие последовательности: $P_2 \to P_1 \to P_3$, $P_2 \to P_3 \to P_1$.

Шаг 3. Объект P_4 сравнивается с первым объектом полученной последовательности и затем либо располагается на первом месте, либо, последовательно сравниваясь со следующими объектами, располагается в нужном месте.

Далее алгоритм аналогично продолжается до объекта P_n. Отметим, что если конфликтов нет, то получаем точное решение поставленной задачи. В общем случае из-за возможных конфликтов решение зависит от первоначальной последовательности расположения объектов. Число арифметических операций пропорционально n^2.

Данный алгоритм может быть использован совместно с вышеописанным алгоритмом минимизации функционала. Рассмотрим m различных первоначальных последовательностей расположения объектов. После применения вышеописанного эвристического алгоритма получим m, вообще говоря, различных линейных последовательностей объектов. Путем максимизации функции качества на данном множестве последовательностей выбираем наилучшую последовательность.

Таким образом, построен эффективный алгоритм ранжирования объектов по их значимости. То есть можно ранжировать критерии, как частный случай объектов, по степени важности.

Ранжированные критерии перенумеровываются по степени важности, так что P_{i1} будет наиболее важным критерием для i-й задачи. Степени важности критерия ставится в соответствие число r_{ij}, где $0 < r_{ij} \leqslant 1$.

Чтобы задача была согласованной, требуется чтобы

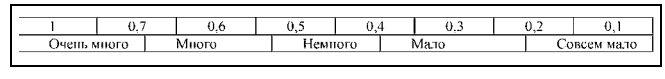
$$\sum_{j=1}^{n(i)} r_{ij} = 1,$$

где $n(i)$ — число критериев для i-й задачи.

7. ОЦЕНКА СЛОЖНОСТИ ЗАДАЧИ

Каждому критерию для каждой задачи ставится в соответствие значение этого критерия, m_{ij}^k — оценка сложности j-го критерия k-м экспертом для i-й задачи.

Выбранные критерии связаны базовой шкалой с параметрами, имеющими четкий физический смысл, таким образом базовая шкала может связать цифровые параметры с лингвистическими переменными, на рисунке показан пример базовой шкалы.



Базовая шкала связи цифровых и лингвистических переменных

Эти критериальные значения определяются затратами: временем, деньгами, людскими ресурсами и т. д.

8. СОГЛАСОВАНИЕ КРИТЕРИАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ

Согласованное всеми экспертами значение критерия может быть представлено в виде:

$$m_{ij} = 1/10 \left[10 \frac{\sum_{k=1}^{n} m_{ij}^k}{n} + 0{,}5 \right],$$ где $[\cdot]$ — целая часть числа.

Таблица 4

Таблица критериальных значений задач антитеррористического мониторинга

Критерий	Задача			
	A_1	A_2	…	A_l
P_1	m_{11}	m_{12}	…	m_{1l}
P_2	m_{21}	m_{22}	…	m_{2l}
…	…	…	…	…
P_n	m_{n1}	m_{n2}	…	m_{nl}

Можно заполнить табл. 4, указывая оценку каждого критерия задачи АМ для единичного эксперта.

9. РАНЖИРОВАНИЕ ЗАДАЧ АМ ПО ИХ КРИТЕРИЯМ С УЧЕТОМ ВАЖНОСТИ И СЛОЖНОСТИ ЗАДАЧ

Каждой задаче ставится в соответствие обобщенная характеристика сложности (трудности, тяжести решения)

$$M_i = \sum_{j=1}^{l_i} r_{ij} m_{ij},$$

где l_i — число критериев для i-й задачи.

В результате этих действий мы установили обобщенную характеристику сложности задач. Теперь сортируем задачи АМ по увеличению M_i. Таким образом ранжируем задачи по степени сложности реализации, на основании чего эксперты могут установить приоритеты выполнения задач.

10. РАНЖИРОВАНИЕ ПРОЕКТОВ ПО КРИТЕРИЯМ ВАЖНОСТИ И СЛОЖНОСТИ

Различные наборы задач образуют разные проекты. Для анализа и сравнения важности и сложности проектов можно применить описанные выше алгоритмы для задач, входящих в проекты. В результате получим ранжированные проекты, причем, ранжируя по различным критериям, можем определить ранги, принимая в качестве главных приоритетов оценки проектов:

- важность;
- сложность;
- риск;
- реализуемость.

Пусть $П_1$, …, $П_M$ — возможный набор проектов, состоящих из определенного числа задач, часть из которых могут быть общими для разных проектов. Наша цель заключается в том, чтобы по критериям важности, сложности и реализуемости (риски и реализуемости проектов связаны между собой) выделить проект, который надлежит выполнить в первую очередь. Введем критерий предпочтения проекта Q_i, $i = \overline{1, M}$:

$$Q_i = \frac{V(П_i)}{C(П_i)} R(П_i),$$

где $V(П_i)$, $C(П_i)$, $R(П_i)$ — соответственно, важность, сложность и реализуемость i-го проекта. Проект, который надлежит выполнить в первую очередь, должен соответствовать максимуму в приведенном критерии, т. е.

$$Q_i = \max_{i = \overline{1, M}} Q_i.$$

Каждый проект должен включать в себя тот или иной набор задач, причем для каждой задачи известны критерии сложности, важности и реализуемости. Основная проблема состоит в том, что функции важности (сложности, реализуемости) проектов не являются аддитивными функциями важностей (сложностей, реализуемостей) входящих в них задач. Например, пусть проект $П$ состоит из набора задач A_1, …, A_k, тогда, вообще говоря,

$$V(П) \neq V(A_1) + \ldots + V(A_k), \quad C(П) \neq C(A_1) + \ldots + C(A_k),$$
$$R(П) \neq R(A_1) + \ldots + R(A_k),$$

Равенство в приведенных формулах возможно для некоторых частных случаев, когда критериями являются стоимости, время и т. д. В общем случае можно сказать, что функция $V(П) \equiv V(V(A_1), \ldots, V(A_k))$ является монотонно возрастающей функцией аргументов. Конкретный вид этих функций определяется, исходя из специфики входящих в проект задач.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанное согласование принятия решений по антитеррористическим действиям должно входить составной частью в информационно-программный комплекс обнаружения и ликвидации биологической чрезвычайной ситуации. Включение его в автоматизированную информационно-управляющую систему реагирования на биологическую чрезвычайную ситуацию позволит лицам, принимающим решения, а также членам экспертных групп отрабатывать на тренажере действия (сценарии), определять критерии, их важность и значения, ранжировать задачи по степени сложности и т. д., чтобы во время чрезвычайной ситуации принимать оптимальные решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Государственный* доклад МЧС России о состоянии защиты населения и территорий Российской Федерации от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера в 2002 г. // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций: Информ. сб. / Под ред. Н. А. Махутова. — М.: ВИНИТИ, 2003. — С. 3—186.
2. *Противодействие* биологическому терроризму. Практическое руководство по противоэпидемическому обеспечению / Под ред. Г. Г. Онищенко. — М.: 2003. — 311 с.
3. *Матвеев А. А., Новиков Д. А., Цветков А. В.* Модели и методы управления портфелями проектов. — М.: МПСОФТ, 2005. — 206 с.
4. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархий. — М.: Радио и связь, 1993. — 315 с.
5. *Самохина А. С., Трахтенгерц Э. А.* Компьютерная поддержка оценки потребностей в силах и средствах для осуществления антитеррористического мониторинга // Тр. II междунар. конф. «Параллельные вычисления и задачи управления» PACO'2004 / Ин-т пробл. упр. — М., 2004.

e-mail: absamokhin@yandex.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии В. Л. Эпштейном. ❑

УДК 007:316.42:35

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНЫМИ СИСТЕМАМИ КИТАЯ, ЗАПАДА И РОССИИ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Е. Ю. Русяева

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва

Представлены результаты сравнительного анализа подходов к управлению социальными системами Китая, Запада и России. На основе историко-культурного материала определены ключевые критерии анализа управления. Выявлены особенности управления в различных социальных моделях и указаны области притяжения для выбора приоритетного направления развития систем.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях нарастающей динамики процессов, происходящих во всех сферах жизнедеятельности человека, одной из актуальнейших задач становится управление. В современном постнеклассическом мире при рассмотрении вопросов управления доминирует установка на открытость, преобразование в отличие от классической картины мира (закрытых систем). В современном естествознании превалирует нелинейная, недетерминированная, синергетическая [1, 2] модель мироустройства с преобразованиями «порядка из хаоса» [3].

В доминирующей ныне западной модели управления при рассмотрении проблем социально-культурного, экономического развития социальных систем во главу угла ставится принцип целеполагания — прогнозирования. Определяя стратегию современного управления, исследователи говорят о глобализации, строят модели будущего информационного общества, ищут объяснения и пути выхода из нестабильных состояний систем (постиндустриальное общество Д. Белла [4], сетевое — М. Кастельса, предвидимое будущее Дж. Томсона [5], футурология Э. Тоффлера [6] и др., в России — информационная цивилизация Р. Абдеева [7]).

Антропологический аспект управления становится одним из определяющих, исследователи признают, что именно человек как сложная биосоциальная система выступает в роли структурообразующего и системообразующего фактора цивилизации и культуры, субъекта управления [8].

Сами социальные системы в целом рассматриваются как динамичные открытые образования, подверженные сбивающему влиянию хаоса, упорядочение в которые вносит управление (включая и самоорганизацию), основанное на теоретическом и практическом знании. Значение информации и коммуникативного аспекта управления (политики) как передачи информации в современном социуме многократно увеличивается.

В стратегическом плане, при выборе управленческих воздействий на социальные системы выявляют аттракторы как поля притяжения, области приоритетного развития того или иного социально-культурного или экономического фактора.

Всеми исследователями отмечена неоднозначность понимания и реализации основных целей и задач управления разными социальными системами, например, государств Юго-Восточного региона (Китая), Запада, России. Указывается на необходимость учета сложившихся алгоритмов, неприемлемости прямого копирования даже успешного опыта, что требует социально-философского анализа основных управленческих параметров, выявления и сопоставления системных особенностей и управления в соответствии со спецификой систем.

Исторически сложилась традиция сопоставлять (а порой и противопоставлять) Россию как государственно-политическую систему с Западом и Востоком по геополитическим, культурологическим и другим характеристикам. При всем многообразии материалов уже проведенных исследований интерес к сопоставлениям, особенно в аспекте управления, в современных условиях не только не уменьшается, а, наоборот, увеличивается. Динамика происходящих процессов, с одной стороны, стимулирует выделение отдельных отраслей знания в самостоятельные дисциплины, диктует необходимость более детальных исследований. С другой стороны, на-

растающие интеграционные процессы требуют синергетических, системных подходов, взаимосвязанного междисциплинарного исследования в науке. Эти тенденции опять возвращают нас к проблемам управления, регулирования, анализу особенностей социальных систем с позиций гуманитарного, философского осмысления их общих и специфических черт на данном этапе развития.

Важно не просто много знать, а понимать (А. Эйнштейн), чтобы выбирать направление развития социальных систем, а это требует, прежде всего, выявления историко-культурных предпосылок, определения базовых критериев для сопоставительного анализа на социально-философском уровне рефлексии. Актуально системное, синергетическое видение управления как процесса, обеспечивающего целостность и развитие систем.

1. СРАВНЕНИЕ УПРАВЛЕНИЯ В СОЦИАЛЬНЫХ СИСТЕМАХ ПО ЦЕЛЯМ И ФУНКЦИЯМ. КРИТЕРИИ АНАЛИЗА

Как принято в кибернетике, многие объекты, изучаемые в науках о человеке, могут рассматриваться как системы. Такие объекты состоят из многих частей, взаимодействующих друг с другом более или менее сложным образом. Примерами могут служить общество, которое составляют люди, государство, культура и др. Так, с точки зрения системного подхода *культура* является, прежде всего, *этической системой отношений, морально-нравственных ценностей и норм общества*. Тогда как *государство* в современной трактовке рассматривается как *целостная социально-правовая, политическая система*, основная *функция* которой заключается *в создании и поддержании легитимных норм социума* (локального). Причем в настоящее время государство как источник права находится в сложном положении, оно призвано одновременно выступать и в качестве целого, и в качестве части, т. е. и в качестве всеобъемлющей инстанции, и в качестве частной инстанции. Этот парадокс, в сущности, затрагивает само понятие политической власти, считает П. Рикер [9]. При этом сама власть понимается как система перераспределения, мобилизации ресурсов системы. Культура и государство рассматриваются как целостные социальные образования, иерархически организованные, выполняющие функции *воспроизводства ценностного образца, интеграции, целеполагания и адаптации* [10]. Индивид выполняет, главным образом, *целедостиженческую функцию*. Применительно к обществу системный подход разрабатывался Р. Мертоном [11], К. Леви-Строссом [12], Н. Луманом [13], С. Московичи [14].

В социальных системах выявляются ценностные образцы (морально-этические), нормы, традиции, заложенные в их основе и проявляющиеся в особенностях (отношениях, ментальности, поведении, привычках, общем складе характера индивидов и т. д.). В тех обществах, где ценностные образцы постоянны, воспроизводятся из поколения в поколение, закреплены многовековыми традициями, можно говорить о традиционных или устойчиво легитимных социальных системах. Когда ценностные нормы, традиции подвержены частым изменениям, говорят об универсальных и(или) неустойчивых системах (универсализм культуры). Здесь уместно вспомнить об управляющих параметрах внешних условий, которым подчинена любая система. Параметры порядка, выявляемые в синергетике, определяют поведение отдельных частей систем. К примеру, если рассматривать этику как параметр порядка, то стоит учитывать, что некоторый параметр порядка может господствовать в системе, но наряду с ним в ней могут сосуществовать также иные различные параметры порядка. Поэтому, по мысли Г. Хакена [15], вполне можно представить такую ситуацию, что даже внутри одной нации существуют различные формы этики.

Рассмотрим на концептуальном уровне основные критерии управления социальными системами. В самом общем виде понятие *управление* может рассматриваться как *интеллектуальный процесс*, состоящий из *выбора серии актов целенаправленного воздействия на какую-либо систему для перевода ее из одного состояния в другое* [16]. Одной из основных задач управления является выбор необходимого состояния системы в определенной ситуации для повышения ее ресурсного потенциала и дальнейшего функционирования с наибольшей эффективностью. В смысле практической применимости, функции управления (понимаемые как комплекс взаимосвязанных действий) представлены классической западной школой управления. Так, А. Файоль, которого вместе с Ф. Тейлором [17] считают одним из родоначальников теории менеджмента, выделяет в управлении следующие исходные функции: предсказывать (*прогнозировать*), *планировать, организовывать, распоряжаться, координировать и контролировать*.

Эти положения никем не оспариваются, лишь творчески переосмысляются и дополняются. В современных условиях задачи, методы и функции управления в теории и на практики более дифференцированы, но принцип анализа сохраняется (В. Н. Бурков, Д. А. Новиков [18], А. В. Ермишин [19] и др.).

Выберем следующие критерии для сопоставительного анализа управления социальными системами: *цель (целеполагание) и функции*, среди которых основные — *планирование* (конкретизация задач), *организация* (понимаемая как структурирование, упорядочение систем), *регулирование* и *контроль*.

Результаты проведенного анализа представлены в табл. 1. Рассмотрены историко-культурные основы управления в государствах Юго-Восточного региона (в частности, в Китае), коренящиеся в управленческих традициях даосизма и конфуцианства (а также легизма), и выявлены следующие базовые черты. Прежде всего, здесь целеполагание как построение «идеального образца», цели в классическом западном понимании отсутствует [20]. *Управление* рассматривается *процессуально*, за основу берется *оценка потенциала ситуации*. Во главу угла ставится эффективность, т. е. акцент смещается на возможность достижения результата с наименьшими ресурсозатратами, основываясь на саморазвитии, естественном ходе вещей. Поэтому с классических управленческих позиций, *целеполагание* будет гибким, «выжидательным», основанным на предварительной всесторонней оценке ситуации. *Планирование* же понимается как составление *реальной программы действий* на базе потенциала, заложенного в самой ситуации, и первостепенное значение имеет *сбор и анализ информации*. *Организацию* представляет *централизованная структура с иерархическим подчинением* на подуровнях, а *регулирование* осуществляется

Таблица 1

Сравнение управления в различных системах по целям и функциям

Критерий	Система		
	Китайская	Западная	Российская
Целеполагание	Оценка потенциала ситуации. Построение «идеального образца» в классическом западном понимании в виде цели отсутствует. Гибкое целеполагание	Прогнозирование, построение «идеального образца» в виде рациональной цели. Дерево целей. Рациональное целеполагание	· Прогнозирование, идеальный образ будущего, цель в виде достижения всеобщего блага (рай, утопия). · Отсутствие общей цели. Спонтанное целеполагание
Функция:			
планирование	Составление реальной программы действий на основе всесторонней оценки ситуации, сбор и анализ информации	Составление рационального плана действий на основе получения и анализа большого массива информации. Технологизм и логичность каждого этапа планирования	Составление идеальных (как должно быть) планов, отсутствие полной аналитики, расчет на перераспределение ресурсов, мобилизационные возможности власти
организация	Централизованная структура, иерархическое подчинение	Децентрализованная структура, делегирование полномочий	Централизованная структура, иерархия. Автономия «снизу»
регулирование	Приоритет социально-психологических методов и использование жестких рычагов организационно-административных методов на этапе контроля. Применение экономических методов совершенствуется	Приоритет экономических методов, социально-психологические методы совершенствуются, особенно в плане манипулятивных техник. Оганизационно-административные методы — на этапе контроля	Приоритет организационно-административных методов в сочетании с социально-психологическими на уровне идеологии. Применение экономических методов совершенствуется
контроль	Контроль осуществляет бюрократический аппарат системы. Отклонение от общепринятых стандартов, традиций жестко пресекается	Контроль осуществляет выборный демократически-бюрократический аппарат. Отклонение от общепринятых стандартов пресекается и изучается	Контроль выполняет власть, бюрократический аппарат. Монополия власти на наказание (в том числе легитимное). Часто попустительство власти, коррупция, манипуляция рычагами контроля

на основе *приоритета социально-психологических методов* и использования жестких рычагов *организационно-административных методов* на этапе контроля. Применение *экономических методов совершенствуется*, их механизмы *не являются определяющими. Контроль* осуществляет *бюрократический аппарат системы.* Любое отклонение от общепринятых стандартов, традиций жестко пресекается. *Манипуляции являются естественным действием,* основанным на управлении по принципу самоорганизации, наблюдения за естественным ходом развития ситуации, ее потенциалом и применяются по мере необходимости.

Историко-культурные подходы к исследованию управления в рамках западной модели (включая США) позволили сделать следующие выводы. *По целям* управление Запада базируется на *целеполагании как рациональном действии,* основу которого составляет *прогнозирование*, т. е. *построение «идеального образца»* в виде *рациональной цели*, выстраивается также «дерево целей». При рассмотрении *функций* управления выявлено следующее: *планирование* заключается в составлении *рационального плана действий* (задач) на основе получения и анализа большого массива информации, *технологизм и логичность* характеризуют каждый этап планирования. *Организацию* составляет *децентрализованная структура, делегирование полномочий*; в *регулировании* приоритет отдается *экономическим методам*, социально-психологические методы совершенствуются, особенно в плане скрытых манипулятивных техник. *Контроль* осуществляет *выборный демократически-бюрократический аппарат* системы. Отклонение от общепринятых стандартов пресекается.

Рассмотрение проблем управления в российской философской, социально-политической и управленческой мысли позволило выявить следующие особенности. По целям: *целеполагание* в России является *спонтанным*, что обусловлено системообразующей особенностью — стремлением «все доводить до крайности» [21], двуполярностью подхода, «черно-белой парадигмой» [22]. К целеполаганию (особенно стратегическому) в России подходят с двух позиций:

— прогнозирование как создание идеального образа будущего, цели в виде достижения всеобщего блага (рай, град Китеж, социальные утопии);

— отсутствие общей цели («плыть по течению», «жить сегодняшним днем», «после нас хоть потоп»).

Планирование заключается в составлении *идеальных* (как должно быть) *планов*, отсутствии полного анализа, расчете на перераспределение ресурсов, опоре на мобилизационные возможности власти. *Организация* опирается на *централизованные структуры*, иерархию, властную вертикаль, при этом имеет место автономия «на местах», внизу иерархической пирамиды. В *регулировании* приоритет отдается *организационно-административным* методам в сочетании с социально-психологическими на уровне идеологии. Применение экономических методов только совершенствуется. Не совершенны основные *экономические механизмы:* институт частной собственности, рыночное регулирование и пр., сильны тенденции к монополизации. *Контроль* выполняет система власти, *бюрократический аппарат,* наблюдается *монополия власти* на легитимное наказание. Часто имеет место попустительство контролирующих органов, коррупция, *манипуляция* рычагами контроля.

2. АНАЛИЗ ОСОБЕННОСТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ

Для выявления особенностей управления социальными системами выделим ряд факторов. Прежде всего, это *системообразующие* (определяющие управление систем в целом), *целефункциональные* (сочетающие особенности целеполагания и функционирования), *функционально-структурные* (функции, задающие структуру систем) и *поведенческие* (ценностные приоритеты и психологические черты индивидов, составляющих социум и являющихся субъектами управления) факторы. Обобщенно результаты анализа представлены в табл. 2. Отметим, что процесс управления обычно рассматривают по направленному воздействию управляющего субъекта на управляемые субъекты (объекты). В научных теоретико-практических исследованиях социальных систем выделяют *государственное управление, производственное и управление в организациях.*

Таблица 2

Особенности управления социальными системами на современном этапе

Факторы	Система		
	Китайская	Западная	Российская
Системообразующие	Оценка потенциала ситуации	Рационализм	Абсолютизм (управление «по крайностям»)
	Следование традициям	Техницизм (логические рациональные технологии)	Монополизм (выбор силы, власти)
	Следование ходу саморазвития ситуации (цикличность развития)	Следование цели, плану, заранее созданному образцу, (причинно- следственная логика развития)	Следование чувствам, эмоциям, интуиции (спонтанность развития)
	Иерархизм (централизация)	Плюрализм (децентрализация).	Иерархизм (централизация)
	Тайная борьба за власть (влияние) наверху иерархии. Послушание, покорность на всех уровнях иерархии	Жесткая конкурентная борьба на всех системных уровнях	«Жесткая конкуренция администраторов» (борьба за власть), отсутствие конкуренции снизу, автономия
	Китаецентризм (вера в свое культурное превосходство)	Европоцентризм, вера в свое полное превосходство, американоцентризм	Доминирование крайностей (от мессианства до самоуничижения)
	Средняя адаптивность (высокая в технологических заимствованиях, низкая из внешних культур)	Средняя адаптивность («перекачка мозгов», заимствуется и адаптируется все, что несет пользу)	Высокая адаптивность. Универсализм культуры, крайности в предпочтениях
	Ценностный конфликт между «целями и средствами» решен на основе саморазвития, следования ходу ситуации	Ценностный конфликт между «целями и средствами» решен на основе общей пользы, консенсуса и логики закона (права), договора	Ценностный конфликт между «целями и средствами» импульсивно решается в пользу силы, власти
Целефункциональные	Отсутствие целеполагания как моделируемого образца	Управление по целям, наличие моделируемого образца	Управление по идеям, абсолютизированным целям
	Эффективность управления — достижение результата при наименьших ресурсозатратах	Целенаправленность на наивысший экономический результат, капитализация	Спонтанность, хаотичность, порыв («авось, небось и как-нибудь»). Цель — идеал, образ

Продолжение табл. 2

Факторы	Система		
	Китайская	Западная	Российская
	Особая роль систем воспитания и образования (комплекс культурного превосходства, сакрализация власти)	Особая роль экономизма и утилитаризма. Вера в либерально-демократические ценности, захват ресурсов при миссианизме	Особая роль идеологической духовно-культурной сферы. Культ власти, ее сакрализация
	Выбор в соответствии с оценкой развития ситуации, естественного хода вещей	Многовариантность выбора индивидуального, безальтернативность общего	Выбор «по крайностям», часто двуполярность
	Применение манипулятивных технологий по традиции	Манипулятивные технологии как средство управления	Манипуляции в идеологии как средство власти
Функционально-структурные	Централизация, иерархия структуры, жесткий контроль и подчинение на всех уровнях	Децентрализованная система управления, делегирование полномочий	Централизация, иерархия, властная вертикаль при автономии на местах
	Бюрократизация системы	Дебюрократизация системы по горизонтали	Бюрократизм, монополизм
	Приоритет социально-психологических методов в сочетании с организационно-административными, контроль. Экономические механизмы не являются определяющими	Приоритет экономических методов в сочетании с административными при контроле. Внимание к социально-психологическим механизмам, их средствам манипуляции	Приоритет организационно-административных методов в сочетании с социально-психологическими, их средствам манипуляции. Экономические механизмы не выработаны
Поведенческие	Коллективизм (предпочтение групповых интересов личным, патернализм)	Индивидуализм (предпочтение личных интересов групповым, плюралистические отношения)	Коллективизм (принцип «будь как все»). Индивидуализм (принцип: «смекалка»)
	Чувствительность, интуиция, эмоции предпочтительнее рассудка. Приверженность традициям важнее всего	Рационализм и рассудительность предпочтительнее эмоций. Ценится профессионализм	Импульсивность, харизма предпочтительнее рассудка. Личная преданность важнее профессионализма
	Самодисциплина. Послушание, уважение к старшим, к традициям, чинопочитание	Самостоятельность. Индивидуальность, следование рациональной логике, либерально-демократическим ценностям	Недисциплинированность. Диктат (культ) власти и (или) уход от ответственности. Способ противостояния власти: «вечный уход», «бунт»

Государство как многоуровневая, иерархическая система создавалось постепенно, в ходе исторического развития и усложнения социума. Поэтому, эффективными на уровне государства обычно бывают те методы управления, которые свойственны отдельным коллективам (первичным системам — организациям). Не исключается возможность расстановки одних приоритетов при выборе методов управления в первичных общностях, а для общества в целом — других. Вместе с тем конгруэнтность форм управления на «низшем» и «высшем» уровне не обеспечивает более эффективное развитие общества, дальнейшее его усложнение, увеличение потенциала. Исторический опыт показывает, что распространение приоритетных методов управления, как правило, идет «снизу», от первичных общностей, эволюционно трансформируя «верхи». Попытка внедрения приоритетного управления «сверху» вызывает консервативное сопротивление «низов». В этом случае, идущее «сверху» управление оказывается неспособно интегрировать общество в целом [23].

В практике управления, как правило, одновременно применяют различные методы и их сочетания, которые органически дополняют друг друга, находятся в состоянии динамического равновесия. Тем не менее, приоритетность того или иного метода характеризует особенность системы, свойственный именно ей алгоритм. Обычно выделяют следующие методы.

- *Социально-психологические,* основные инструменты которых — убеждение и создание условий, учитывающих традиции, ценностные, социальные и психологические ориентации, мораль и потребности человека [19]. Эти методы применяются в целях повышения социальной активности людей в управленческом взаимодействии.

- *Экономические*, их механизмы определяются материально-экономическим регулированием. Эти методы основаны на рыночных отношениях, купле-продаже товаров и услуг, отношениях собственности и обусловлены экономическими стимулами.
- *Организационно-административные,* основные инструменты которых — приказ, принуждение, силовое давление, закон. Эти методы основываются на прямых директивных указаниях.

В основе названых методов лежат три ключевых системных понятия: *власть, экономическая заинтересованность, культура*. В современных развитых социумах (социентальных обществах [10]), локальных государствах экономические методы управления выходят на первый план (развитой капитализм) и комбинируются с организационно-административными и социально-психологическими.

3. ПРИОРИТЕТНЫЕ ЗОНЫ ПРИТЯЖЕНИЯ

На основе проведенного историко-культурного анализа управленческих систем были выявлены по три приоритетных «зоны притяжения» для социальных систем государств Юго-Восточного региона (Китая), Запада и России на современном этапе (табл. 3). Это не значит, что другие зоны притяжения менее важны, главной задачей было выделить в социокультурном плане наиболее актуальные и обобщающие (включающие в себя другие, как, например, универсализм культуры в российской модели, охватывающий и ценности православия, и др.). Выявленные зоны притяжения сопоставимы по ключевым критериям как между собой, так и с мировыми областями приоритетного развития.

Так, к примеру, три основных зоны притяжения Китая (а также стран Юго-Восточного региона) расположены в областях: *культуры* (особенно традиций), *образования* (прежде всего, воспитания в духе традиций), *саморазвития* (следования естественному ходу вещей и действий на основе оценки ситуации, приводящей к эффективности). Так, активное развитие информационных технологий в этих странах (особенно в Японии) служит показателем того, что в нынешней ситуации (следование ходу вещей, высокий потенциал) управление направлено в эту область притяжения, совпадающую с общемировыми тенденциями развития. Основным параметром порядка выступают традиции культуры.

Таблица 3

Приоритетные зоны притяжения для социальных систем

Аттрактор	Система			
	Китайская	Западная	Российская	Общемировая
Первый	Культура (традиции)	Рациональность (техницизм)	Универсализм культуры	Социально-культурные ценности
Второй	Образование	Информация	Образование	Интеграция
Третий	Саморазвитие	Прикладная наука	Фундаментальная наука	Знания

В социальных системах Запада приоритетные зоны притяжения: *рациональность-технологизм* (экономизм, нормированность, военные технологии и др., включая и фундаментальные исследования), *наука прикладная* (аналитика, логика, естествознание, психология, медицина и др.), *информация* (информационные технологии, средства массовой коммуникации и др.). Управление, направляющее Западную модель в эти области, привело в целом государства к высокому уровню социально-экономического развития, особенно в сферах научных технологий, военно-технической и информационной. Однако уровень культуры (массовой) оказался довольно примитивен, особенно в США, ориентирован на «общество потребления», «массового человека», управляемого индивида. Здесь информационные технологии активно применяются в целях манипуляции общественным сознанием как внутри систем, так и во внешней политике. Культурные нормативы западной модели базируются на принципах западоцентризма — ценностных образцах либеральной демократии, развитой, детально проработанной философии утилитаризма и прагматизма — и консенсуса, согласования интересов членов данного социума. Легитимный порядок следует из соблюдения норм закона, при этом «что не запрещено, то разрешено», доминирует причинно-следственная зависимость. У современных индивидов Запада превалирует поведенческая установка: быть равными среди равных («люди без тимуса», «без груди» по Ф. Фукуяме [24], «закат культуры» О. Шпенглера). Здесь основной «параметр порядка» задает правовая система, сформировавшая гражданское общество.

Зонами притяжения — «аттракторами» для России, сложившимися и оформившимися к настоящему моменту ее развития стали области *образования, фундаментальной науки, универсализма культуры.* Как ни парадоксально, но основными параметрами порядка выступают творческие, импульсивные (игровые) стереотипы поведения индивидов.

Учитывая особенности России, ее свойство доводить все до крайностей, до пределов, можно лишь практическим путем, направляя ресурсы управления в системы образования, науки, культуры, привести маятник управления к колебаниям меньшей амплитуды. Средством для этого, возможно, послужит интеграция интеллектуальных возможностей членов российского социума, целенаправленное управление, приводящее систему к целостности, когда она приобретает свойства, не присущие ее элементам в отдельности [25], — это можно осуществить путем интеграции ресурсов знаний.

Основные общемировые аттракторы, согласно прогнозам, футурологическим исследованиям, реальной оценке ситуации находятся в областях: *знания* (информационное, постиндустриальное, общество знания), *интеграции* (общих интеграционных процессов, глобализации), *социально-культурных ценностей* (возрождения нравственности, духовности).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ специфики управления различными социальными системами позволил выявить сильные и слабые позиции, причем целостность систем обеспечивается балансом управленческих решений. Если страны Юго-Восточного региона и Запада (включая США) имеют устойчивые традиции и законы, их культура закрепила ценностные образцы (китае- и западоцентризм), то для России характерны периодические смены ценностных предпочтений — универсализм культуры. Россия чаще других претерпевает инновационные циклы развития, и в этом ее и сила, и слабость (неустойчивость). С одной стороны, она не застыла в традиционном ожидании (своеобразном выжидании, «недеянии») благоприятного развития ситуации (аналогия с традицией даосизма, характерной для модели Китая). С другой — не пришла еще к мысли о «конце истории», когда главные либерально-демократические, правовые ценности уже определены и стремиться индивиду больше не к чему, разве что быть «равным среди равных» (аналог модели Запада).

Общемировые тенденции развития систем находятся в зонах совершенствования знаний, информационных технологий, интеграции, социально-культурных ценностей, и управление любой системой заключается в том, чтобы направить дальнейшее развитие в эти зоны притяжения. Например, для России, с ее ведущими «аттракторами» *фундаментальной науки, образования*, *универсализма культуры* целесообразно перераспределение ресурсов в науку и образование. Особенность управленческих действий (стремление все доводить до крайности) дает возможность активизировать индивидов — субъектов управления — на интенсификацию развития сферы знаний, интеллектуально-гуманитарной сферы. Самоорганизация, возможности саморазвития и универсализм культуры российской модели позволяют держать ориентир на лучшие образцы, вырабатывать свои способы совершенствования мировой культуры. Таким образом, учитывая сильные и слабые стороны системы в целом, можно перенаправить ресурс на «мирные цели», обратив недостатки в достоинства, слабости — в силу. Думается, стоит напомнить принцип ответственности, своеобразный морально-нравственный алгоритм управления (аналог «золотого правила» этики, нравственного императива Э. Канта), сформулированный Г. Хакеном [15]: «*Достойное человека самоорганизующееся общество может продолжительно существовать только тогда, когда каждый поступает так, как если бы он в рамках своей собственной деятельности был ответственен за целое*».

ЛИТЕРАТУРА

1. *Капица С. П., Курдюмов С. П., Малинецкий Г. Г.* Синергетика и прогнозы будущего. — М.: Едиториал УРСС, 2003. — 288 с.
2. *Шевлоков В. А.* Синергетика: уровни и способы описания сложных эволюционирующих систем (философско-методологический анализ). — Нальчик: НГУ, 1999. — 350 с.
3. *Пригожин И., Стенгерс И.* Порядок из хаоса: Новый диалог человека с природой. — М.: Прогресс, 1986. — 471 с.
4. *Белл Д.* Грядущее постиндустриальное общество. Опыт социального прогнозирования. — М.: Академия, 1999. — 956 с.
5. *Томсон Дж.* Предвидимое будущее. — М.: Наука, 1958. — 156 с.
6. *Тоффлер Э.* Шок будущего. — М. АСТ, 2002. — 557 с.
7. *Абдеев Р. Ф.* Философия информационной цивилизации. — М.: Владос, 1994. — 336 с.
8. *Гуревич П. С.* Философия человека. В 2-х т. — М.: ИФРАН, 1999; 2001.
9. *Рикер П.* Этика, мораль и политика. — М.: Аспект Пресс, 2004. — 134 с.
10. *Parsons T.* The Structure of Social Action. — N.-Y.: Free Press, 1937; The System of Modern Societies. — Englewood Cliffs; — N.-Y.: Prentice-Hall, 1971; The evolution of societies. Englewood Cliffs (N. A.), 1977; Social system and the evolution of action theory, N.-Y.-L., 1977. — P. 216.
11. *Merton R. K.* Social Theory and Social Structure. — Glencoe, IL: Free Press, 1957; Mass persuasion, N.-Y.-L., 1946 (M. Flake and A. Curlis); On the shoulders of giants, N.-Y., 1965; On theoretical sociology, L., 1987; Contemporary social problems, N.-Y., 1971. — P. 124.
12. *Levi-Strauss C.* Structural Anthropology. — N-Y.: Basic Books, 1963. — P. 286.
13. *Луман Н.* Почему необходима «системная теория»? // Проблемы теоретической социологии. — 1994. — Вып. 3. — С. 31—42.
14. *Московичи С.* Машина, творящая богов. — М.: Центр психологии и психотерапии, 1998. — 365 с.
15. *Haken H.* Synergetic Computers and Cognition. — Berlin: Springer, 1991; *Хакен Г.* Тайны природы. Синергетика: учение о взаимодействии. — Москва — Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2003. — 124 с.
16. *Бодякин В. И., Русяева Е. Ю.* Формализация определения понятия «управление» с позиции нейросемантики // Третья международная конференция по проблемам управления. — М., 2006. — Т. 2. — С. 170.
17. *Управление* — это наука и искусство / *А. Файоль, Г. Эмерсон, Ф. Тейлор, Г. Форд.* — М.: Наука, 1992.
18. *Бурков В. Н., Новиков Д. А.* Как управлять организациями. — М.: СИНТЕГ, 2004. — 400 с.
19. *Ермишин А. В.* Технология созидания: Практическая философия бизнесмена. — Саратов: Икд-Волга-Пароход, 1998. — 384 с.
20. *Жюльен Ф.* Трактат об эффективности. — М. — СПб.: Московский философский фонд «Университетская книга», 1999. — 236 с.
21. *Лихачев Д. С.* О национальном характере русских // Вопросы философии. — 1990. — № 4. — С. 3—9.
22. *Ахиезер А. С.* Россия: критика исторического опыта (социокультурная динамика России). — Новосибирск: Сибирский хронограф, 1997. — 800 с.
23. *Захаров Н. Л.* Специфика социальной системы России. — Ижевск: УдГУ, 2000. — 219 с.
24. *Фукуяма Ф.* Конец истории и последний человек. — М.: АСТ; Ермак, 2004. — 588 с.
25. *Гумилев Л. Н.* Этногенез и биосфера Земли. — Л.: Мысль, 1991. — С. 351—450 с.
26. *Богданов А. А.* Тектология: Всеобщая организационная наука. В 2-х кн. — М.: Экономика, 1980.

☎ *(495) 334-92-39*

e-mail: 1779624@mail.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии Д. А. Новиковым. ❑

УДК 330.322

ВЫБОР ВАРИАНТОВ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ СУДОВ, ПЛАНА ИХ МОДЕРНИЗАЦИИ И ПРОДАЖИ

А. Н. Нюдюрбегов

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова, г. Москва

Рассмотрена задача разработки оптимального долгосрочного плана эксплуатации рыбопромысловых судов с учетом ремонтных и модернизационных работ. Приведен пример ее решения.

ВВЕДЕНИЕ

Разработка оптимального долгосрочного плана эксплуатации рыбопромысловых судов, всех видов их ремонтов и работ по их модернизации, предполагает решение следующих вопросов: в каком объеме, для каких судов и модернизацию какого оборудования следует проводить с тем, чтобы максимизировать прибыль компании.

Без ответов на эти вопросы менеджмент компании при наступлении очередного ремонтного периода будет принимать необоснованные, бессистемные решения. Обоснованное решение данных задач позволяет увеличить эффективность и прибыльность работы компании [1, 2].

Модернизации подлежат основные типы средне- и крупнотоннажных рыболовных судов. Для судов можно рассматривать модернизацию оборудования: винторулевого комплекса, морозильной и двигательной установок, тралового комплекса, поисковой аппаратуры.

План проведения ремонтов и модернизации судов должен осуществляться в комплексе с другими разделами инвестиционной программы компании. У компании есть альтернатива — отказаться от модернизации судна, подготовить его к продаже, а свободные деньги вложить в проекты развития других бизнесов.

1. ЗАДАЧА ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СУДОВ

Необходимо определить оптимальный план проведения модернизации (ремонтов) рыбопромыслового судна, который максимизирует суммарный денежный поток, получаемый компанией от его эксплуатации за T периодов с учетом ликвидационной стоимости судна в период T.

Каждый год может быть осуществлен ремонт или модернизации судна, существует несколько альтернатив проведения ремонтных работ $k = \overline{1, k_t}$. В число альтернатив включен вариант продажи судна. В период t множество $k_t = f(X_{k1}, X_{k2}, \ldots, X_{kt-1})$ зависит от выбора вариантов в предыдущие периоды, образуя дерево возможных решений.

Критерий: максимизировать суммарный денежный поток, получаемый компанией от эксплуатации рыбопромыслового судна за период T с учетом выбранного плана проведения ремонтов и модернизации, а также возможной его продажи:

$$\sum_{k=1}^{k_t}\sum_{t=1}^{T}(\Delta NCF_{kt} - C_{kt} + S_t(X_{kt}))X_{kt}\gamma_t \to \max. \qquad (1)$$

При ограничениях:

на выбор в каждый период одного варианта из множества альтернативных

$$\sum_{k=1}^{K_t} X_{kt} = 1, \quad t = \overline{1, T}; \qquad (2)$$

на суммарные (за весь период) ресурсы, выделенные на проведение ремонтов и модернизацию судов

$$\sum_{k=1}^{k_t}\sum_{t=1}^{T} C_{kt}X_{kt} \leqslant R, \qquad (3)$$

где $X_{kt} = 1$, если в t-м году осуществляется k-й вариант модернизации (ремонта), $X_{kt} = 0$, в противном случае; C_{kt} — затраты на ремонт судна по k-му варианту; ΔNCF_{kt} — прирост чистого денежного потока от увеличения вылова и (или) уменьшения эксплуатационных издержек судна в t-м году после осуществления ремонта; S_t — стоимость продажи судна в период t, которая также

зависит от набора осуществленных ремонтов, т. е. от выбора переменных X_{kt}, t и k; γ_t — дисконтирующий коэффициент; R — суммарные затраты на ремонт и модернизацию судов.

2. ПРОВЕДЕНИЕ РАСЧЕТОВ ПО ОЦЕНКЕ И ВЫБОРУ ЭФФЕКТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СУДОВ КОМПАНИИ

Последовательность проведения оценки и выбора эффективных вариантов функционирования судов включает в себя три этапа.

Этап 1. Подготовка исходной информации:

— формирование альтернативных вариантов $k = \overline{1, k}$ проведения модернизации (ремонтов) судна с оценкой стоимости и сроков проведения работ;

— оценка и прогнозирование влияния проведения модернизации (ремонта) на производственно-эксплуатационные характеристики рыбопромыслового судна с учетом внешних условий (динамика цен на продукцию компании, динамика цен на ГСМ и другие составляющие эксплуатационных затрат);

— прогнозирования цены S_t продажи судна в зависимости от проведенных модернизаций (ремонтов).

Этап 2. Расчеты экономических показателей эксплуатации судна и оценка величин: NPV — чистого дисконтированного дохода оцениваемого плана модернизации и ΔNCF_{kt} — прироста чистого денежного потока. Значения NPV и ΔNCF_{kt} определяются с помощью производственно-финансовой модели судна (в настоящей работе использовался программный комплекс ТЭО-ИНВЕСТ [3], разработанный в Институте проблем управления РАН).

Этап 3. Сравнение вариантов по показателям, рассчитанных на этапе 2, и выбор оптимального плана модернизации судна и (или) его продажи. Решение задачи оптимизации (1)—(3).

3. ПРИМЕР РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫБОРА ЭФФЕКТИВНЫХ ВАРИАНТОВ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СУДОВ

Рассмотрены следующие варианты.

Вариант 1. Эксплуатация судна до 2014 г. без проведения модернизации.

Вариант 2. Эксплуатация судна до 2014 г., включая проведение его модернизации в 2007 г.

Вариант 3. Эксплуатация судна до его продажи в 2010 г., включая проведение его модернизации в 2007 г.

План модернизации судна по варианту 2 предусматривает замену компонентов двигательной установки и тралового комплекса. Проведение работ намечено на конец 2007 г., стоимость работ оценена в 100 тыс. долл. США. При этом, по оценкам специалистов, после проведения модернизации промысловая мощность судна увеличится на 20 %, сократится расход ГСМ и затраты на текущие ремонты на 10 %.

В расчетах учитывались следующие внешние условия:

— стоимость закупаемых ГСМ растет с темпом 5 % в год;

— оптовая цена на продукцию компании растет с темпом 8 % в год.

Сравнение вариантов

Сравниваемые варианты	*NPV*, тыс. руб.	*IRR*, %	Рекомендации
Вариант 2 и вариант 1	−4500 тыс. руб.	8,9	Вариант 2 не выгоден для компании. Рекомендация — пересмотреть состав проекта модернизации, сократить затраты на проведение работ
Вариант 3 и вариант 2	12 250 тыс. руб.	57,3	Продажа судна по планируемой цене выгоднее для компании, чем его эксплуатация

— ставка дисконтирования денежных потоков принята на уровне 20 % в год.

Вариант 3 отличается от варианта 2 тем, что в 2010 г. судно планируется подготовить к продаже и продать за 2750 тыс. долл.

В таблице приведено сравнение вариантов по показателям *NPV* и *IRR*. Расчеты показали, что для компании выгоднее вариант 3.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена задача выбора оптимального плана модернизации или продажи рыбопромысловых судов, возникающая при управлении рыбопромышленной компанией. Применение оптимизационного подхода к решению этой задачи приводит к необходимости решать задачу (1)—(3) с алгоритмически заданными параметрами. При формировании вариантов и расчете их характеристик используется имитационные программные комплексы. Предложенная методика проведения расчетов может быть применена для оценки и выбора вариантов развития сложных систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Нюдюрбегов А. Н.* Модели и методы управления проектами развития многопрофильной компании // Междунар. науч.-практ. конф. «Современные сложные системы управления» High Technology Control Systems (СССУ/HTCS'2004) / ТГТУ. — Тверь, 2004.
2. *Нюдюрбегов А. Н., Цвиркун А. Д.* Методы и программно-инструментальные средства принятия стратегических решений на предприятии // Материалы первой междунар. конф. «Системный анализ и информационные технологии». — Переславль-Залесский, 2005.
3. *Программный* комплекс ТЭО-ИНВЕСТ // Проблемы управления. — 2006. — № 6. — 3-я стр. обложки.

(495) 334-78-29

e-mail: tsvirkun@ipu.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии В. Н. Бурковым. ❑

УДК 519.86;519.718

СИНТЕЗ УПРЕЖДАЮЩЕГО АНАЛОГА МОДЕЛИ САМУЭЛЬСОНА–ХИКСА

В.А. Колемаев

Государственный университет управления, г. Москва

Предложена более устойчивая форма модели Самуэльсона—Хикса и ее применение к задаче удвоения валового внутреннего продукта.

Согласно динамической модели Кейнса валовой внутренний продукт (ВВП) будущего года (предложение) формируется по спросу на потребительские и инвестиционные товары, сложившемуся в текущем году. Спрос на потребительские товары — линейная функция от текущего значения ВВП, спрос на инвестиционные товары предполагается неизменным. Таким образом, эта модель имеет вид линейного конечно-разностного управления первого порядка

$$y(t+1) = C_0 + cy(t) + I,\ \ y(0) = y_0, \qquad (1)$$

где $y(t+1)$, $y(t)$ — будущее и текущее значения ВВП; c — предельная склонность к потреблению; $0 < c < 1$; I — постоянный спрос на инвестиционные товары; C_0 — свободный член.

Установившееся решение уравнения (1) имеет вид:

$$y^E = (C_0 + I)/(1-c). \qquad (2)$$

Для ускорения переходного процесса в уравнение вводится акселератор, в результате получается модель Самуэльсона—Хикса

$$y(t+1) = C_0 + cy(t) + I + r(y(t) - y(t-1)),\quad y(0) = y_0, \qquad (3)$$

где r — коэффициент акселерации, а именно, доля текущего приращения ВВП, направляемая на инвестиции.

Уравнение (3) имеет такое же установившееся решение (2), как и динамическая модель Кейнса. Таким образом, введение акселератора не изменяет установившегося значения ВВП, но благодаря текущему перераспределению ВВП в сторону увеличения инвестиций при соответствующем сокращении потребления приводит к ускорению переходного процесса.

Переходные процессы удобнее изучать, рассматривая непрерывные варианты дискретных моделей. Непрерывным вариантом динамической модели Кейнса служит инерционное звено

$$T\frac{dy}{dt} + y = y^E,\ \ y(0) = y_0, \qquad (4)$$

где $T = (1-c)^{-1}$ — постоянная времени, $y^E = (C_0 + I)/(1-c)$ — стационарное решение, а также вход в динамическую систему. Система ведет себя устойчиво, никаких особенностей не возникает.

Непрерывным вариантом модели Самуэльсона—Хикса служит следующее линейное дифференциальное уравнение второго порядка:

$$\frac{1}{1-c}\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{1-r}{1-c}\frac{dy}{dt} + y = y^E,\ \ y(0) = y_0, \qquad (5)$$

которое имеет такое же стационарное решение $y^E = (C_0 + I)/(1-c)$, что и ее дискретный вариант, и такое же, как динамическая модель Кейнса.

Поведение системы, описываемой уравнением (5), зависит от корней его характеристического уравнения $\lambda^2 + (1-r)\lambda + 1 - c = 0$.

В работе [1] было показано, что при действительных корнях характеристического уравнения динамическую систему, описываемую уравнением (5), можно представить в виде последовательного соединения двух инерционных звеньев с постоянными времени

$$T_{1,2} = \left[\frac{1-r}{2} \pm \sqrt{(1-r)^2/2 - (1-c)}\right]^{-1},$$

если же корни комплексные, то система — колебательное звено.

В работе [2] подробно исследован характер переходных процессов в зависимости от коэффициента акселерации r. В частности, показано, что при $0 < r \leqslant 1 - 2\sqrt{1-c}$ имеет место экспоненциальная сходимость к установившемуся значению ВВП, а при $1 - 2\sqrt{1-c} < r < 1$ — экспоненциально-колебательная сходимость. Особенности

возникают при предельном значении коэффициента акселерации $r = 1$ и при «запредельных» значениях $r > 1$.

При $r = 1$ система входит в установившийся колебательный режим, а при $r > 1$ — в колебательный режим с экспоненциально растущей амплитудой. В связи с этим возникает вопрос: можно ли так преобразовать систему, описываемую моделью Самуэльсона—Хикса, чтобы новая система вела себя устойчивым образом при предельном и некоторых запредельных значениях коэффициента акселерации?

Это преобразование предлагается осуществить путем включения акселератора в контур положительной обратной связи с динамической моделью Кейнса, т. е. путем синтеза новой системы из двух элементов: инерционного звена и акселератора.

На рисунке показан этот контур обратной связи, $G_1(s)$, $G_2(s)$ — передаточные функции элементов, вход $x = y^E\chi(t)$, ($\chi(t)$ — функция Хэвисайда), выход — y.

Передаточная функция контура положительной обратной связи

$$G(s) = \frac{G_1(s)}{1 - G_1(s)G_2(s)} = \frac{1}{(T - r)s + 1},$$

и новая система — это инерционное звено с другой постоянной времени $\tilde{T} = T - r$ [1]. Эта система устойчива при $r < T$, т. е. при $r < \frac{1}{1-c}$, что включает предельное и некоторые запредельные значения r.

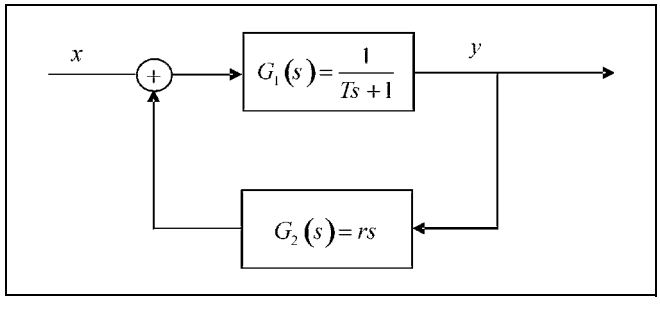
Дифференциальное уравнение этого инерционного звена имеет вид:

$$(T - r)\frac{dy}{dt} + y = y^E, \quad y(0) = y_0;$$

его дискретным вариантом является следующее линейное конечно-разностное уравнение первого порядка:

$$y(t + 1) = \frac{c - r(1 - c)}{1 - r(1 - c)}y(t) + \frac{C_0 + I}{1 - r(1 - c)}, \qquad (6)$$

которое имеет такое же установившееся решение, как динамическая модель Кейнса и модель Самуэльсона—Хикса, т. е. решение вида (2).



Инерционное звено с акселератором в контуре положительной обратной связи

Полученное уравнение (6) легко преобразуется к виду

$$y(t + 1) = C_0 + cy(t) + r(1 - c)[y(t + 1) - y(t)] + I. \qquad (7)$$

Модель (7) естественно назвать упреждающим аналогом модели Самуэльсона—Хикса, поскольку имеет место эффект акселерации с упреждением (акселеративное слагаемое пропорционально будущему приросту ВВП), в отличие от запаздывающей акселерации в модели Самуэльсона—Хикса (акселеративное слагаемое пропорционально текущему приросту ВВП).

Сравним теперь при $0 < r < 1$ по скорости сходимости упреждающий аналог и модель Самуэльсона—Хикса, для упрощения исследуем поведение непрерывных вариантов моделей. В непрерывном случае переменная часть решения — решение однородного уравнения. Для модели Самуэльсона—Хикса это линейная комбинация фундаментальных решений $e^{\lambda_1 t}$ и $e^{\lambda_2 t}$ где λ_1 и λ_2 — корни характеристического уравнения $\lambda^2 + (1 - r)\lambda + 1 - c = 0$, а для упреждающего аналога этой модели — фундаментальное решение $e^{\lambda_M t}$, где λ_M — корень характеристического уравнения $(T - r)\lambda + 1 = 0$.

Имеем

$$\lambda_M = -\frac{1 - c}{1 - r(1 - c)}, \quad \lambda_{1,2} = -\frac{1 - r}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{1 - r}{2}\right)^2 - (1 - c)}.$$

Сначала рассмотрим интервал изменения коэффициента акселерации $0 < r < 1 - 2\sqrt{1 - c}$, в котором корни характеристического уравнения модели Самуэльсона — Хикса — действительные. Скорость сходимости в линейной комбинации $A_1 e^{\lambda_1 t} + A_2 e^{\lambda_2 t}$ определяет более медленная экспонента, соответствующая корню λ_1, но поскольку $|\lambda_M| < |\lambda_1|$, поэтому модель Самуэльсона—Хикса характеризуется более высокой скоростью сходимости.

Рассмотрим теперь интервал $1 - 2\sqrt{1 - c} < r < 1$. Корни характеристического уравнения модели Самуэльсона—Хикса — комплексные. Переменная часть решения — затухающие гармонические колебания с амплитудой, пропорциональной $e^{-(1 - r)t/2}$. Поэтому величину $|\lambda_M|$ надо сравнить с величиной $(1 - r)/2$.

Имеем

$$\frac{1 - r}{2} - |\lambda_M| = \frac{(1 - r)[1 - r(1 - c)] - 2(1 - c)}{2[1 - r(1 - c)]}.$$

Исследуем числитель последнего выражения как квадратическую функцию r: $f(r) = (1 - c)r^2 - (2 - c)r - 1 + 2c$, $f(0) = -1 + 2c > 0$, $f(1) = -2(1 - c) < 0$. Поскольку $f'(r) = 2(1 - c)r - (2 - c)$, то точка максимума

$$r^* = \frac{1 - c/2}{1 - c} > 1,$$

поэтому на интервале [0, 1] находится единственный (меньший) корень уравнения $(1 - c)r^2 - (2 - c)r - 1 + 2c = 0$

$$\hat{r} = \frac{1 - c/2}{1 - c} - \sqrt{\frac{(1 - c/2)^2}{(1 - c)^2} + \frac{(1 - 2c)}{1 - c}}.$$

Подведем итоги. При $0 < r < \hat{r}$ модель Самуэльсона—Хикса (непрерывный вариант) характеризуется более высокой скоростью сходимости к установившемуся решению, чем ее упреждающий аналог, напротив, при $\hat{r} < r < 1$ скорость сходимости упреждающего аналога выше.

Кроме того, упреждающий аналог имеет более широкую область устойчивости, поскольку в нее входят предельное значение $r = 1$ и некоторые запредельные значения $1 < r < 1/(1 - c)$. К тому же, упреждающий аналог (дискретный вариант) характеризуется более щадящим режимом сокращения потребления на величину $r(1 - c)[y(t + 1) - y(t)]$ по сравнению с величиной $r[y(t) - y(t - 1)]$ в модели Самуэльсона—Хикса.

В заключение рассмотрим применение полученных результатов к задаче удвоения ВВП. Сразу уговоримся об условном характере этого применения, поскольку оно сопряжено с выполнением ряда предположений.

Согласно статистическим сборникам [3, 4] ВВП России в 2000 г. составил в ценах 2000 г. 7,31 трлн. руб., а инвестиции — 1,17 трлн. руб. Если принять, что предельная склонность к потреблению $c = 0{,}8$ и считать, что в базовом 2000 г. экономика находилась в устойчивом состоянии, то из уравнения

$$y_0^E = (C_0 + I_0)/(1 - c) = y_0$$

найдем $C_0 = 0{,}3$ трлн. руб.

Если считать, что в 2010 г. экономика бы также оказалась в равновесном состоянии, то имело бы место уравнение

$$y^E = (C_0 + I_0)/(1 - c) = 14{,}62,$$

откуда находим значение $I = 2{,}62$ трлн. руб. постоянных ежегодных инвестиций, которые обеспечивают при таких условиях удвоение ВВП.

На самом деле инвестиции были гораздо меньше, темп роста замедлился, поэтому стал обсуждаться вопрос об увеличении срока удвоения.

Попробуем ответить на вопрос, что надо сделать для соблюдения первоначального срока. Примем, что в 2001—2004 гг. экономика росла со среднегодовым темпом прироста 7 %, тогда ВВП 2004 г. составил бы 9,58 трлн. руб. Если принять, что темп прироста в 2005 г. 6 %, то ВВП за 2005 г. составит величину $y_1 = 10{,}15$ трлн. руб.

Как, двигаясь от этой последней базы, достичь в 2010 г. 14,62 трлн. руб.? Если действовать в соответствии с упреждающим аналогом модели Самуэльсона—Хикса при $r = 3$, то с 2006 г. должен начаться ускоренный переходный процесс с новым объемом постоянных инвестиций, превышающих настоящий на ΔI.

Величину ΔI найдем следующим образом. За пять лет переходный процесс, начавшийся в 2006 г., при $r = 3$ практически закончится в 2010 г. достижением желаемого уровня ВВП 14,62 трлн. руб., если ежегодные инвестиции будут равны 2,62 трлн. руб. (см. выше).

Поэтому для удвоения ВВП к концу 2010 г. надо, чтобы ежегодные инвестиции достигли указанного объема, увеличившись по сравнению с 2000 г. в 2,24 раза, а по сравнению с 2005 г. на 31 %, а сам абсолютный прирост ежегодных инвестиций по сравнению с 2005 г. составил бы $\Delta I = 0{,}62$ трлн. руб.

При таком режиме ускорения переходного процесса ($r = 3$) 60 % ежегодного прироста ВВП будет идти на инвестиции и 40 % на потребление, постоянная часть инвестиций ежегодно в 2006—2010 гг. должна быть равна 2,62 трлн. руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Колемаев В. А.* Математическая экономика. 3 изд. — М.: ЮНИТИ, 2005.
2. *Колемаев В. А.* Исследование поведения Самуэльсона—Хикса // Проблемы управления. — 2006. — № 1. — С. 16—19.
3. *Российский* статистический ежегодник, 2002: Стат. сб. — М.: Госкомстат России, 2002. — 690 с.
4. *Национальные* счета России в 1995 — 2002 гг.: Там же. 2003. — 157 с.

☎ *(495) 371-11-65*

Статья представлена к публикации членом редколлегии Р. М. Нижегородцевым. ❑

Постоянно действующие общемосковские семинары Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

- *Экспертные оценки и анализ данных*
- *Теория управления организационными системами*
- *Логическое моделирование*
- *Управление развитием крупномасштабных систем*
- *Проблемы искусственного интеллекта*
- *Обзор возможностей системы MATLAB*
- *Применение системы 'SQ контроль дел'*

Подробности на сайте www.ipu.ru

УДК 62-50

АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ ХОРОШО ИНТЕРПРЕТИРУЕМЫХ КЛАССИФИКАЦИЙ[1]

А. А. Дорофеюк, А. Л. Чернявский

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, г. Москва

Предложен способ задания многомерной классификации, делающий ее более понятной специалисту-предметнику. Рассмотрены алгоритмы построения заданных таким образом классификаций.

ВВЕДЕНИЕ

Классификационный подход к анализу данных широко применяется для построения «сжатого описания» исходных данных [1], которое в последующем можно использовать, например, для принятия управленческих решений.

Сжатие информации достигается тем, что совокупность объектов разбивается на классы, а каждый класс представляется одним «синтетическим» объектом — центром класса и набором стандартных отклонений, характеризующих разброс объектов этого класса относительно центра. При небольшом числе классов такое описание оказывается достаточно экономным.

Однако для возможности использования результатов классификации в практических задачах важно не только то, насколько экономно эта классификация представляет исходную информацию, но и то, насколько она удобна для интерпретации в содержательных терминах. Представление в виде набора центров классов и стандартных отклонений удобно для компьютера, но мало что говорит специалисту-предметнику. До сих пор проблеме интерпретируемости классификаций уделялось недостаточное внимание. Отчасти это связано с тем, что в практических задачах классификация часто использовалась как вспомогательное средство для построения регрессионной зависимости (кусочная аппроксимация), когда интерпретируемость классификации не так существенна [2]. Работа посвящена описанию двух алгоритмов построения хорошо интерпретируемой классификации — покоординатной и спрямляющей классификаций.

В обоих алгоритмах множество значений каждого показателя разбивается на небольшое число диапазонов. Хорошо интерпретируемая классификация задается набором границ этих диапазонов. Как только границы диапазонов определены, каждый объект получает описание в виде позиционного кода, где число позиций равно числу показателей. Классом хорошо интерпретируемой классификации является совокупность объектов с идентичными кодами.

Покоординатная классификация осуществляет разбиение каждого показателя на заданное число диапазонов независимо от других показателей, т. е. искомая классификация задается сочетанием одномерных классификаций по всем показателям. Основное преимущество такой классификации — возможность использования алгоритмов оптимальной одномерной классификации [2].

Спрямляющая классификация строится как своего рода аппроксимация многомерной классификации, например, ищутся такие границы диапазонов, при которых число объектов, оказавшихся по другую сторону границы от большинства объектов своего класса, будет минимальным.

1. АЛГОРИТМЫ ПОСТРОЕНИЯ ХОРОШО ИНТЕРПРЕТИРУЕМЫХ КЛАССИФИКАЦИЙ

Для построения хорошо интерпретируемой классификации множество значений каждого используемого для классификации показателя разбивается на небольшое число диапазонов. Так, например, при разбиении на три диапазона они интерпретируются как диапазоны *высоких*, *средних* и *низких* значений показателя. Таким образом, хорошо интерпретируемая классификация задается набором границ диапазонов значений каждого показателя, участвующего в классификации. Тогда задача сводится к нахождению таких границ диапазонов параметров, которые отражают реальную структуру взаиморасположения объектов в многомерном пространстве показателей.

Как только границы диапазонов найдены, каждый объект получает описание в виде позиционного кода, имеющего вид $(P_1, P_2, ..., P_k)$, где число позиций k равно числу используемых для классификации показателей. Такой код означает, что этот объект принадлежит классу с номером P_1 для первого показателя, P_2 — второго, и т. д. Классом хорошо интерпретируемой классификации является совокупность объектов с идентичными описаниями. Разработаны два алгоритма построения хорошо интерпретируемой классификации.

[1] Работа рекомендована к печати Программным комитетом Третьей международной конференции по проблемам управления (Москва, 20—22 июня 2006 г.).

Покоординатная классификация. Очевидно, самый простой способ построения хорошо интерпретируемой классификации — независимое (от других показателей) разбиение множества значений каждого показателя на заданное число диапазонов. В этом случае хорошо интерпретируемая классификация задается как сочетание одномерных классификаций по каждому показателю. Такую классификацию будем называть *покоординатной классификацией.*

Основное преимущество такой классификации — возможность использования алгоритмов оптимальной одномерной классификации, позволяющих получать глобальный оптимум критерия качества классификации [2]. Другие важные преимущества покоординатной классификации состоят в ее простоте и наглядности. Отметим также, что если число диапазонов по каждому показателю задано, то довольно сложная для многомерной классификации проблема выбора числа классов отпадает. Пусть, например, построена трехмерная покоординатная классификация с тремя диапазонами по каждому показателю. Это означает, что пространство объектов оказывается разбитым на $3^3 = 27$ областей, а число классов r будет таким, каким оно фактически «получится», т. е. $r = 27 - r_0$, где r_0 — число областей, в которых не оказалось ни одного объекта.

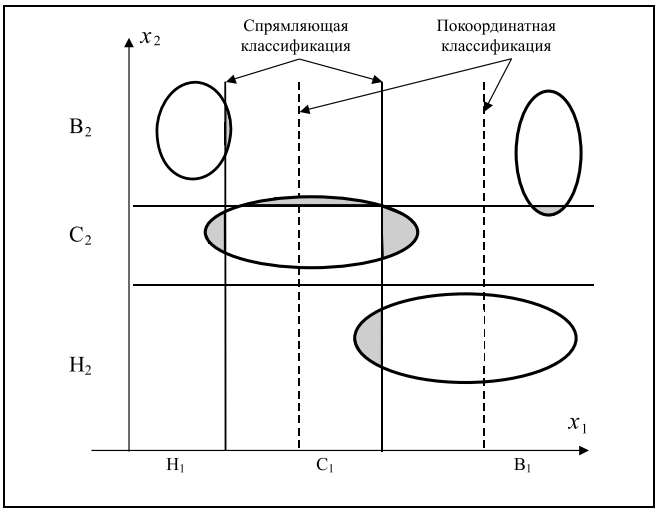
Спрямляющая классификация. Недостаток покоординатной классификации заключается в том, что она строится по одномерной проекции многомерного распределения объектов в пространстве показателей, т. е. не учитывает большую часть информации о структуре множества объектов. Второй способ построения хорошо интерпретируемой классификации позволяет устранить этот недостаток.

При этом способе основой для хорошо интерпретируемой классификации служит многомерная классификация [1]. Хорошо интерпретируемая классификация строится как своего рода аппроксимация этой многомерной классификации.

Поскольку задача состоит в том, чтобы хорошо интерпретируемая классификация наилучшим образом аппроксимировала многомерную классификацию, будем искать такие границы диапазонов, при которых число «отсеченных» объектов, т. е. объектов, оказавшихся по другую сторону границы от большинства объектов своего класса, будет минимальным.

Очевидно, что такие границы легко находятся простым перебором. Описания «отсеченных» объектов, оказавшихся по другую сторону границы диапазона, изменяются. Новое описание может совпасть с описанием одного из имеющихся классов (в этом случае будем говорить, что объект «переходит» в другой класс). В противном случае «отсеченных» объект образует новый класс. Построенную таким образом классификацию будем называть *спрямляющей классификацией.* Число возникших при построении спрямляющей классификации новых классов и число точек в них могут служить характеристикой качества аппроксимации исходной многомерной классификации спрямляющей классификацией.

Заметим, что число классов в спрямляющей классификации, как и в случае покоординатной классификации, в основном определяется фактической структурой точек в многомерном пространстве.



Хорошо интерпретируемые классификации

2. СРАВНЕНИЕ ПОКООРДИНАТНОЙ И СПРЯМЛЯЮЩЕЙ КЛАССИФИКАЦИЙ

В общем случае покоординатная и спрямляющая классификации даже при одинаковом числе диапазонов разбиения показателей могут давать разные результаты. Покажем это на следующем модельном примере. На рисунке овалами условно изображены классы двумерных объектов с равномерным распределением объектов внутри классов. Множество значений каждого из двух показателей x_1 и x_2 разбивается на три диапазона — с высокими (В), средними (С) и низкими (Н) значениями показателя.

В этом примере покоординатная классификация по показателю x_1 с разбиением на три диапазона даст разбиение, показанное штриховыми вертикальными линиями, а спрямляющая классификация — разбиение, показанное сплошными вертикальными линиями (залитые области — это области отсеченных объектов, классификация которых изменится по сравнению с исходной двумерной классификацией). Заранее нельзя сказать, какое из этих разбиений предпочтительнее, это зависит от содержательной постановки задачи.

В заключение заметим, что в прикладных работах в основном используется спрямляющая классификация. Описанные алгоритмы применялись при анализе и совершенствовании систем управления региональным здравоохранением и региональными пассажирскими автоперевозками, а также в задаче оценки и прогнозирования социального развития регионов России.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бауман Е. В., Дорофеюк А. А.* Классификационный анализ данных / Тр. Междунар. конф. по проблемам управления. — М.: СИНТЕГ, 1999. — Т. 1. — С. 62—77.
2. *Дорофеюк А. А., Бауман Е. В., Корнилов Г. В.* Алгоритмы оптимальной кусочно-линейной аппроксимации сложных зависимостей // Автоматика и телемеханика. — 2004. — № 10.

☎ *(495) 334-90-70, e-mail: adorof@ipu.ru*

Статья представлена к публикации членом редколлегии А. С. Манделем. ❑

ПЕРВАЯ РОССИЙСКАЯ МУЛЬТИКОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ

Аналитический обзор

Мультиконференция по проблемам управления состоялась 10—12 октября 2006 г. в Санкт-Петербурге. Организаторы конференции: Министерство образования и науки РФ, Комитет по науке и высшей школе администрации Санкт-Петербурга, Санкт-Петербургская территориальная группа Российского Национального комитета по автоматическому управлению, Государственный научный центр Российской Федерации ЦНИИ «Электроприбор»; Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ»; журнал «Мехатроника, автоматизация, управление».

Первая Российская мультиконференция по проблемам управления проводилась при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 06-08-05029).

Председателем Президиума Мультиконференции был академик РАН *В. Г. Пешехонов*, его заместителями — ректор СПбГЭТУ д-р техн. наук, проф. *Д. В. Пузанков* и чл.-корр. РАН *Е. Д. Теряев*.

В рамках Мультиконференции были одновременно проведены три конференции:

— XXV Конференция памяти выдающегося конструктора гироскопических приборов Н. Н. Острякова;

— 4-я конференция «Управление и информационные технологии» (УИТ — 2006);

— 3-я научно-техническая конференция «Мехатроника, автоматизация, управление» (МАУ — 2006).

Пленарные доклады были общими для участников всех трех конференций.

Территориально Мультиконференция проходила в ГНЦ РФ ЦНИИ «Электроприбор» и в СПбГЭТУ.

В работе Мультиконференции приняли участие 485 человек (из них 12 членов РАН) из 86 организаций, среди участников были представители Украины, Республики Беларусь и Швеции; заслушано 156 докладов, что составляет примерно 90 % от заявленных докладов.

Наибольшее внимание участников Мультиконференции привлекли, как всегда, пленарные доклады.

4-я конференция «Управление и информационные технологии» имела некоторое своеобразие в проведении секционных заседаний. Все секционные доклады были объявлены пленарными и докладчикам давалось время до 30 мин. Однако в трудах Мультиконференции, кроме локальных пленарных, опубликованы и другие секционные доклады. В организованных двух круглых столах в рамках конференции «УИТ — 2006» авторы секционных докладов имели возможность выступить с краткими сообщениями.

Первая Российская мультиконференция по проблемам управления была интересна не только физическим объединением сразу трех весьма весомых самостоятельных конференций, но и синергетическим эффектом от такого объединения. На столь представительном форуме ставились и обсуждались такие важные для науки и практики управления вопросы:

- чем определяется разрыв между масштабами общественного производства и уровнем управления этим производством?
- каковы на сегодня определения таких терминов, как *автоматизация, информатика, информатизация, кибернетика, неокибернетика, системный анализ и системотехника, интеллектуальное управление*?
- каковы соотношение и влияние друг на друга кибернетики и информатики?
- что мы наблюдаем: кризис или взлет прикладной теории управления?
- как сблизить теорию и практику управления технологическими процессами?

Большое внимание участников конференции привлек пленарный доклад выдающегося ученого *Карла Острема* (K. J. Astrom, Lund University, Sweden) «Приложения теории управления». Докладчик проследил за этапами развития теории управления и ее приложений в прошлом и на основе проделанного анализа выдвинул наиболее вероятные пути дальнейшего развития теории управления. Свои утверждения автор сопровождал убедительными примерами применения теории управления в энергетике, электронике и электротехнике, авиации и космонавтике, автомобильной промышленности, биомедицине, робототехнике и других областях человеческой деятельности.

В представленном чл.-корр. РАН *В. А. Лопотой* и д-ром техн. наук, проф. *Е. И. Юревичем* пленарном докладе «Экстремальная робототехника и мехатроника. Состояние и перспективы развития» подняты вопросы большого системного звучания. Утверждается, что развитие современной робототехники происходит в тесном взаимодействии с мехатроникой. Мехатроника не только является основой компонентов робототехники, но и развивается на тех же принципах, что и робототехника. Называются шесть основных принципов: системный подход, поэтапная миниатюризация, унификация, интеграция, интеллектуализация и закон степени 3/2. Последний из них относится к миниатюризации. В силу разных порядков размерностей объема и поверхности объектов при их миниатюризации возрастает значимость поверхностных явлений (теплообмен с внешней средой и др.) по сравнению с объемными (инерция и др.). В результате подлежат пересмотру принципы построения, методы расчета и проектирования технических систем по мере их миниатюризации, включая и принципы управления, путем привлечения идей биомеханики.

В докладе формулируется необходимость создания межотраслевого научно-технического органа для координа-

ции работ и разработки соответствующей научно-технической концепции и четкой государственной политики развития экстремальной робототехники и мехатроники.

Таким же системным подходом отличался пленарный доклад акад. РАН *Н. А. Кузнецова* «Фундаментальные основы инфокоммуникаций». Наука об инфокоммуникациях автором рассматривается как естественнонаучная дисциплина. Формулировка «инфокоммуникационная система» предполагает обобщение понятий «информационная и телекоммуникационная система». Инфокоммуникационная система включает в себя телекоммуникационную систему со всем математическим обеспечением, необходимым для ее функционирования, и всю информацию, хранимую и передаваемую в этой системе. Задача науки об инфокоммуникациях состоит в построении формализованных моделей структуры данных и моделей передачи данных от одного объекта к другому.

По аналогии с другими естественнонаучными дисциплинами, в докладе поднимается вопрос о количественных характеристиках информации (например, в физике количественными характеристиками объектов являются граммы, метры, ватты и т. д.). Утверждается, что широко распространенная характеристика в виде количества занятых информацией двоичных ячеек памяти компьютера (биты, байты, килобайты и т. д.) не является объективной, поскольку зависит от искусства программиста, формирующего базу данных. Однако до определения количественной характеристики информации возникает вопрос о самом понятии «информация». В докладе приводятся и анализируются четыре определения понятия «информация», наиболее удачных и точных с точки зрения автора. В свою очередь, для определения количества информации автор вводит пять возможных подходов: энтропийный, алгоритмический, комбинаторный, семантический, прагматический. Далее в докладе эти подходы подробно анализируются.

Профессор *Ю. В. Подураев* в пленарном докладе «Фундаментальные и прикладные проблемы развития мехатроники» сформулировал мехатронику как область науки и техники, основанной на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными и компьютерными компонентами, обеспечивающем проектирование и производство качественно новых модулей, систем и машин с интеллектуальным управлением их функциональными движениями. Утверждается, что мехатроника позволяет обеспечить:

— выполнение машинами качественно новых функций;

— сверхвысокие скорости движения рабочего органа машины;

— новые прецизионные микро- и нанотехнологии;

— интеллектуальное поведение систем;

— компактность и миниатюризацию конструкций;

— новые структуры многокоординатных машин для выполнения сложных движений в пространстве и во времени.

В докладе перечислены фундаментальные и прикладные проблемы развития мехатроники.

Название пленарного доклада акад. РАН *В. Г. Пешехонова* и проф. *Л. П. Несенюка* «Микромеханический гироскоп. Проблемы создания и состояние разработки» в полной мере говорит о его содержании. По принципу действия микромеханический гироскоп относится к гироскопам вибрационного типа. Еще в конце 1950-х—начале 1960-х гг. в ЦНИИ «Электроприбор» были предприняты попытки создания гироскопа типа «камертон», однако они не увенчались успехом, так как уровень развития электроники того времени не соответствовал необходимым требованиям. За два последних десятилетия в промышленно развитых странах получены впечатляющие достижения в области создания и применения микромеханических гироскопов, что «свидетельствует о необходимости ликвидации отставания отечественной техники, но не снижает сложности проблем продвижения в этом направлении». В докладе перечисляются научно-технические проблемы создания микромеханических гироскопов. Так, например, требуется

— объединить механическую и электронную части гироскопа в объеме менее 1 $см^3$;

— обеспечить характерные размеры компонентов около 10 мкм;

— добиться чувствительности датчиков линейных перемещений около 10^{-7} мм, угловых перемещений порядка 0,01″;

— погрешность изготовления не более 0,1 мкм.

Далее в докладе описаны технические приемы, на основе которых в ЦНИИ «Электроприбор» удалось получить требуемые характеристики микромеханических гироскопов. Приводятся данные испытаний четырех модификаций гироскопов, демонстрирующих их высокую точность и надежность.

С большим интересом был заслушан пленарный доклад акад. РАН *А. Б. Куржанского* «О синтезе систем с импульсными управлениями».

На 4-й конференции УИТ—2006 чл.-корр. РАН *Р. М. Юсупов* и проф. *Б. В. Соколов* представили пленарный доклад «Современные проблемы междисциплинарного взаимодействия информатики и кибернетики». Несмотря на локальный характер, он отличался не менее системным и принципиальным характером, чем перечисленные ранее общие пленарные доклады мультиконференции. Действительно, в докладе поднимается вопрос об одном из основных противоречий экономической сферы в XXI в.: разрыве между уровнем и масштабами общественного производства и уровнем управления этим производством. Необходима индустриализация управления на основе комплексной автоматизации видов деятельности, создание различных классов автоматизированных и информационных систем. В методологическом плане автоматизация и информатизация деятельности человека связаны с проблемой взаимного влияния двух междисциплинарных наук — кибернетики и автоматики. Категорические утверждения о том, что современные проблемы кибернетики сводятся к проблемам искусственного интеллекта, в многочисленных публикациях противоречат утверждениям, что кибернетика себя идейно изжила и осталась только информатика. Авторы анализируют исторические корни зарождения кибернетики и информатики, их развитие и приходят к выводу, что проблематики современной кибернетики и информатики тесно взаимосвязаны. Основным предметом исследований в кибернетике являются процессы управления, которые всегда реализуются через информационные потоки.

Конечно, Первая Российская мультиконференция по проблемам управления была интересна и большим числом секционных докладов. В коротком обзоре невозможно упомянуть обо всех многочисленных достойных

внимания теоретических и практических результатах. Однако для читателя журнала это восполнимо с помощью двух томов прекрасно изданных трудов конференции. Более того, не всегда встретишь такую удобную услугу, когда пленарные доклады конференции изданы отдельными брошюрами.

Проведенный краткий анализ результатов конференции говорит о ее существенном вкладе в решение принципиальных вопросов современной науки об управлении. Не только 12 членов РАН имели возможность высказать свою точку зрения по обсуждаемым животрепещущим научным проблемам, но и любой участник конференции. И делали это, причем, горячо и темпераментно. Председателю пленарных заседаний академику РАН В. Г. Пешехонову не без труда удавалось выдерживать напряженный график проведения конференции. Всем участникам было понятно, что они присутствуют на не совсем обычной конференции. Поэтому и с трибуны, и в кулуарах неоднократно звучали мотивы на тему, что Первая Российская мультиконференция по проблемам управления возрождает традицию знаменитых Всесоюзных совещаний по управлению, на которых впервые были представлены выдающиеся достижения многих выдающихся советских ученых. Сами Всесоюзные совещания и их труды привлекали пристальное внимание всей мировой научной общественности.

Несмотря на столь высокую оценку проведенной конференции, возникают и некоторые вопросы. Нельзя не заметить, что в числе организаторов конференции по проблемам управления нет Института проблем управления им В. А. Трапезникова РАН. Среди пленарных докладов конференции нет докладчиков из числа сотрудников этого Института. В то же время известно, что упомянутый Институт систематически проводит международные конференции по проблемам управления. В частности, в июне 2006 г. прошла третья по счету подобная конференция, причем на ней выступали с пленарными и секционными докладами многие из участников Первой Российской мультиконференции. Более того, на Третьей международной конференции по проблемам управления звучали многие из перечисленных наболевших вопросов. Третья международная конференция по проблемам управления также ставила вопрос о преемственности Всесоюзных совещаний.

Конечно, речь не идет о какой-либо конкуренции между этими конференциями: и участники, и поднимаемые вопросы во многом совпадают. Однако совершенно очевидно, что организаторам обеих конференций необходимо объединить свои усилия и проводить нечто подобное, что в новых современных условиях было бы столь же совершенное, как былые Всесоюзные совещания.

Д-р техн. наук. проф.
С. Д. Земляков

(495) 334-87-30

e-mail: zeml@ipu.ru

❑

Новые книги

Аронов И.З. Основные вопросы технического регулирования. — М.: Моск. ун-т леса, 2006. — 206 с.

Атаманчук Г.В. Управление. — М.: Культура, 2006. — 543 с.

Большая российская энциклопедия. Т. 5. — М.: Большая российская энциклопедия, 2006. — 782 с.

Власова Е.А. Приближённые методы математической физики. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. — 699 с.

Евстифеев А.В. Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы ATMEL. — М.: Додэка — XXI, 2006. — 558 с.

Засько Ю.Е. Стратегическое управление угольной отраслью. — М.: Моск. горн. ун-т, 2005. — 333 с.

Иващенко А.А. Механизмы финансирования инновационного развития фирмы. — М.: ИПУ, 2005. — 66 с.

Ивченко Г.И. Математическая статистика. — М.: Высш. шк.,1984. — 248с.

Крупский В.Н. Введение в сложность вычислений. — М.: ФакториалПресс, 2006. — 128 с.

Кубо Р. Статистическая механика. — М.: URSS, 2006. — 452 с.

Курицын С.А. Аналоговые системы передачи. — СПб.: Линк, 2005.— 223с.

Лбов Г.С. Устойчивость решающих функций в задачах распознавания образов и анализа разнотипной информации. — Новосибирск: Ин-т матем., 2005. — 218 с.

Леонтьев Б.К. Секреты сканирования на персональном компьютере. — М.: Новый издат. дом, 2006. — 154 с.

Макаров А.В. Развитие реструктуризационных процессов в региональном машиностроительном комплексе. — М.: Экономика, 2006. — 320 с.

Мартинсон Л.К. Дифференциальные уравнения математической физики. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006. — 367 с.

Машинцов Е.А. Математическое моделирование жизненного цикла и качество здоровья населения. — М.: ИПУ, 2006. — 56 с.

Михалёв-Волооков В.М. Математическая философия. — Брянск, 2006. — 110 с.

Ползунова Н.Н. Исследование систем управления. — М.: Трикста, 2006. — 234 с.

Философия искусственного интеллекта. — М.: ИФ РАН, 2005. — 400 с.

Харди Г.Г. Неравенства. — М.: КомКнига, 2006. — 456 с.

Жарков Н.В. AutoCAD 2007: официальная русская версия. — СПб.: Наука и техника, 2007. — 604 с.

Кузьминов А.Ю. Интерфейс 232: связь между компьютером и микроконтроллером. От DOS к Windows 98/XP. — М.: ДМК, 2006. — 318 с.

Рихтер Д. CLR via C#. Программирование на платформе Microsoft. NET Framework 2.0 на языке C#. — М.: Русская редакция; СПб.: Питер, 2007. — 636 с.

Роббинс Д. Поиск и устранение ошибок в программах под Windows. — М.: ДМК, 2006. — 446 с.

Фаронов В. Программирование на языке C#. — СПб.: Питер, 2007. — 240 с.

«УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИЯМИ – 2006»: СТРАТЕГИЯ ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РОССИИ

С 13 по 15 ноября в Институте проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН состоялась международная научно-практическая конференция «Управление инновациями — 2006». В ее организации и проведении, кроме Института проблем управления, участвовали также Московский авиационный институт, Центральный экономико-математический институт РАН, Академия народного хозяйства при Правительстве Российской Федерации, Правительство Московской области, Институт экономических стратегий и ряд других организаций.

В работе конференции приняли участие более 120 чел., в том числе 11 зарубежных ученых, представлявших более 50 организаций. В рамках двух пленарных и пяти секционных заседаний были заслушаны 11 пленарных и 42 секционных доклада.

На конференции были представлены ведущие организации Российской академии наук: Институт экономики, Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша, Институт мировой экономики и международных отношений, Институт проблем информатики, Институт машиноведения им. А. А. Благонравова, Институт социологии, Институт точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева, Институт экономических проблем Кольского научного центра, Институт экономики Карельского научного центра, Институт органической и физической химии Казанского научного центра, Инновационно-технологический центр «Черноголовка», а также Центр исследований и статистики науки Министерства образования и науки РФ.

В работе конференции участвовали представители 35-ти вузов Российской Федерации. На ней присутствовали представители городских администраций и деловых кругов многих городов Московской области, коммерческих предприятий, научно-производственных организаций, консалтинговых фирм.

Открывая **пленарное заседание** конференции, председатель Оргкомитета д-р экон. наук *Р. М. Нижегородцев* (Институт проблем управления РАН) остановился на ключевых проблемах информационной экономики — молодой, бурно развивающейся области экономической науки, изучающей процессы воспроизводства научно-технической информации в современных экономических системах. Мы не сумеем управлять инновациями до тех пор, пока не научимся понимать, что научное открытие, патент и средство труда (станок), созданные на их основе — это одна и та же научная информация, овеществленная в разных формах. Жизненные циклы научной информации наслаиваются на экономические циклы, и возникает макроэкономическая ситуация, которая либо подталкивает экономических агентов к инновациям, либо препятствует им. За последние двадцать лет экономическая наука сделала огромный рывок в осмыслении того, как с экономической точки зрения устроено общество, производственная мощь которого базируется на информационных технологиях. Осмысливая вектор происходящих перемен, мы должны выстроить стратегию инновационного развития России с учетом реальностей динамики современного мирового хозяйства.

Член-корр. РАН, д-р экон. наук *С. Ю. Глазьев* (Национальный институт развития) посвятил свой доклад логике государственного регулирования инновационных процессов в России. Действия правительства часто направлены не на стимулирование экономического роста и инновационного развития, а на достижение призрачных, эфемерных целей, например, сжатие объема денежной массы или наращивание стабилизационного фонда, средства которого вкладываются в экономику западных стран вместо того, чтобы обеспечить рост российской экономики. Западные экономисты постоянно убеждают нас в том, что макроэкономическая политика сводится к чисто монетарным мерам косвенного регулирования, тогда как экономика западных стран давно уже не управляется подобным образом. Ключевая цель экономической политики — обеспечение соответствующего технологического уровня производства, и страны, которые достигнут этой цели, сумеют реально повлиять на расстановку сил и формирование правил игры в мировой экономике.

На основных факторах и проблемах развития национальной инновационной системы России остановился в своем докладе главный научный сотрудник Центрального экономико-математического института РАН д-р экон. наук *О. Г. Голиченко*. Профиль нашей инновационной системы не очень похож на профиль инновационных систем других развитых стран. Мы привыкли считать, что у нас хорошо обстоят дела с фундаментальной наукой и плохо — с коммерциализацией результатов научных исследований. На самом деле сейчас именно фундаментальная наука в нашей стране недофинансируется, и вследствие этого мы рискуем потерять заделы и наработки, которыми еще недавно имели полное право гордиться. В отсутствии адекватных институциональных механизмов финансирования фундаментальных исследований никакая стратегия инновационного развития страны не может претвориться в жизнь.

Заведующий лабораторией Института проблем управления РАН д-р экон. наук *В. Н. Бурков* посвятил свой доклад проблемам развития методов формирования региональных программ развития. На практических примерах он показал, каким образом модели теории игр и матричные методы экспертизы и принятия решений способны существенно повысить качество разрабатываемых программ управления социально-экономическим и технологическим развитием региона.

Профессор Гомельского государственного университета им. Ф. Скорины д-р экон. наук *Б. В. Сорвиров* рассказал о национальных приоритетах формирования и развития национальных и региональных инновацион-

ных систем. В Республике Беларусь отечественным производителям в целом удалось удержать под контролем внутренний рынок. Благодаря этому не произошло обрушения социальной сферы, как в других странах с переходной экономикой. Созданы условия для стабильного, длительного экономического роста, и основная проблема заключается в обеспечении инновационного качества этого роста. Поэтому у нас нет реальной альтернативы стратегическому курсу на братский союз с Россией, на построение Союзного государства.

Заместитель министра промышленности и науки Московской области д-р экон. наук *О. Ф. Очин* остановился на проблемах и перспективах развертывания инновационных процессов в Московской области. Наиболее подробно он осветил непростые проблемы, связанные с закреплением статуса наукоградов и зон высокой технологии. Отсутствие единого понимания таких показателей, как объем отгруженной инновационной продукции или число инновационно активных предприятий, приводит к тому, что статистические показатели становятся несопоставимыми даже в пределах отдельно взятого региона и без труда могут быть «выведены» по заказу под участие в конкретной государственной программе. В результате возникает ситуация, когда всем известно, в каких районах градообразующими являются научные институты и наукоемкие производства, но добиться официального признания существующего положения дел и получить государственную поддержку на федеральном уровне оказывается весьма непросто.

Именно в таких ситуациях незаменимы исследования, направленные на формирование сценариев будущего развития событий, отметил заместитель директора Института прикладной математики им. М. В. Келдыша д-р физ.-мат. наук *Г. Г. Малинецкий*. Когда мы формируем программу, стратегию инновационного развития, мы постоянно должны держать в голове образ будущего, цель, к которой следует стремиться. Пока же создается впечатление, что в России нет социального слоя, который действительно заинтересован в инновационном развитии страны, либо голос этого слоя слишком слаб и не слышен. Правительство должно выдвинуть не абстрактную концепцию устойчивого развития, а внятно поставленные цели. Не будем забывать о том, что наши основные конкуренты в борьбе за место под солнцем в мировом хозяйстве имеют вполне определенные цели и сценарии, отражающие желательные для них перспективы и варианты грядущих событий. В качестве примера докладчик привел сценарии распада России и окончательного превращения ее обломков в сырьевые придатки западных стран.

Доцент экономического факультета МГУ им. М. В. Ломоносова канд. экон. наук *А. И. Московский* остановился на закономерностях экономического осмысления инноваций и той роли, которую играют в этом процессе различные направления современной экономической мысли. Докладчик подчеркнул, что институциональная теория, во многом вобравшая в себя традиции как марксизма, так и австрийской школы, сделала огромный шаг вперед в объяснении законов, по которым в экономике возникает и распространяется новое знание. Нельзя в связи с этим недооценивать и достижения отечественной экономической науки, в том числе работы в области информационной экономики 1970—1980-х гг., когда перед нашей страной в практической плоскости встала задача управления технологической структурой производства.

Заместитель директора ИПУ РАН д-р техн. наук *Д. А. Новиков* посвятил свой доклад развитию математических моделей, оптимизирующих инновационные процессы на уровне отдельных фирм. Он остановился на оптимизации выбора технологической траектории и момента инвестирования в модернизацию производства, рассмотрел задачи стимулирования персонала и управления человеческим капиталом фирмы и обосновал модель оптимизации распределения ресурсов для достижения подчиненных друг другу целей, образующих линейно упорядоченную систему (например, систему потребностей А. Маслоу).

Теоретические проблемы современной информационной микроэкономики были затронуты в докладе канд. экон. наук *Е. Ю. Иванова* (Алтайский государственный университет). Информация есть экономическое благо, которое характеризуется целой системой неопределенностей, связанных как с производством, созданием этой информации, так и с ее производительным применением. Различные единицы информации не дублируют друг друга по смыслу, поэтому каждая следующая единица этого ресурса, вовлекаемая в производственный процесс, не делает этот ресурс менее редким, а это значит, что о предельной полезности информации следует говорить с большой осторожностью. Что же касается предельных издержек, то характер их зависимости от объема получаемой информации может изменяться, соответствующая кривая может оказаться немонотонной. В этой ситуации поиск точки равновесия представляет собой серьезную проблему, которая не может быть решена «в общем виде», и концепция ожидаемой полезности представляется более плодотворной.

Доцент экономического факультета Санкт-Петербургского государственного университета канд. экон. наук *С. Ю. Румянцева* остановилась на проблеме стимулов к инновациям в современной российской экономике. Неожиданно высокая инновационная активность российских предприятий концентрируется в области «улучшающих» инноваций, тогда как для реализации стратегии инновационного развития России необходимы в первую очередь базисные инновации. До тех пор, пока инновационное развитие нашей страны подчиняется модели «вытягивания спросом», неразумно ожидать от экономических агентов прорывных решений в данной области. Их действия в большей степени зависимы от финансово-нефтяного мультипликатора, динамика которого объясняет циклический характер спроса на улучшающие инновации.

14 ноября на факультете экономики и менеджмента Московского авиационного института на правах круглого стола в рамках конференции «Управление инновациями — 2006» состоялись **Первые Друкеровские чтения «Информационная экономика и концепции современного менеджмента»**. Открывая чтения, зав. кафедрой экономической теории МАИ канд. экон. наук *А. К. Сапор* кратко ознакомил коллег с основными вехами жизни и на-

учной деятельности Питера Друкера и поставил ряд актуальных проблем, касающихся осмысления его научного наследия.

Доклад д-р экон. наук *Р. М. Нижегородцева* был посвящен историческим пределам маржинализма, который теряет свою объяснительную и прогностическую значимость по мере развития информационного производства. Информационные продукты достаются потребителям тем легче, чем они лучше и важнее, что в корне противоречит маржиналистскому взгляду на мир, побуждающему искать источник ценности благ в их редкости, в их недоступности для потребителя. С ростом информационного производства рушится концепция Парето-оптимальности, которая предполагает, что при достижении общего равновесия ни один экономический агент не имеет стимулов к совершению трансакций. Тот факт, что на основе маржиналистской доктрины построены современные базовые учебные курсы экономической теории, является грубой методологической ошибкой, которая болезненно скажется на мировоззрении наших выпускников, вынужденных принимать решения в быстро меняющихся условиях информационного производства.

Новейшим тенденциям в развитии технологической основы производственных процессов посвятил свой доклад бакалавр экономики, студент Института экономики (г. Подольск) *И. С. Анненков*. Биотехнологии, нанотехнологии и новые технологии в области энергетики в недалеком будущем серьезно изменят технологический облик мирового хозяйства. Развитие современных средств связи и коммуникаций выдвигает на передний план проблему управления знаниями, и в недалеком будущем нас ожидают коренные перемены в механизмах государственного регулирования данной сферы.

Освоение новых технологий и правильное управление нематериальными активами играют решающую роль в повышении системной эффективности предприятия, отметила канд. экон. наук *И. В. Гонтарева* (Харьковский национальный экономический университет). Используя модель «кривой освоения», она показала логику синергетического эффекта, возникающего при инвестировании фирмы в модернизацию производства, протекающем синхронно с ростом предложения на рынке информационных продуктов.

В докладе *С. В. Денисовой* (МАИ) поставлены проблемы формирования и использования человеческого капитала в процессе слияний и поглощений компаний. В ходе обсуждения возникла оживленная научная дискуссия, в которой были приведены примеры того, каким образом и почему предприниматель порой сдерживает развитие человеческого капитала сотрудников собственной фирмы, и обозначены шаблоны поведения, отвечающие интересам работника и работодателя.

Инновационному подходу к управлению технологической структурой производства на предприятии «ЦНИРТИ им. академика А. И. Берга» посвятила доклад сотрудница этого предприятия студентка МАИ *Л. С. Михеева*. Механизмы внутреннего управления инновационным процессом в многопрофильном научно-производственном объединении предопределяются не только целями его развития, но и макроэкономическими предпосылками, в условиях которых это развитие осуществляется. В результате возникает разветвленная система технико-экономических проблем, связанных с разработкой и внедрением адекватных механизмов управления инновациями.

Аспирант МАИ *К. В. Григораш* остановился на роли и функциях оборонного комплекса России как разработчика и инициатора инноваций. Сокращение государственной поддержки оборонной промышленности привело к тому, что в последние два десятилетия инновационный потенциал соответствующих структур по ряду направлений технологического развития оказался утрачен. Когда макроэкономическая система находится в кризисе, необходимый технологический уровень производства должен поддерживаться усилиями государства вопреки соображениям краткосрочной экономической эффективности, поскольку в противном случае правительство упускает из виду долгосрочные цели инновационного развития страны.

14 ноября в Институте проблем управления РАН состоялись секционные заседания. Работа секции **«Менеджмент инноваций и национальные инновационные системы»** открылась докладом доцента Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого канд. экон. наук *И. И. Колесниковой*. Проблема управления стоимостью предприятия требует наличия надежных и адекватных результативных показателей, количественно выражающих эту стоимость. В качестве таковых можно использовать соотношение между рыночной ценой акции предприятия и получаемым по ней доходом, а также соотношение рыночной и балансовой цены бизнеса. Нельзя забывать и о том, что с точки зрения инвесторов деятельность предприятия эффективна, если доходность его акций выше доходности альтернативных вложений.

Доцент Пензенского государственного университета архитектуры и строительства канд. экон. наук *Э. В. Кондратьев* остановился на проблемах развития управленческого персонала предприятия как инструмента повышения эффективности формирования и использования человеческого капитала.

Сегодня Россия стоит перед выбором, отметил в своем докладе д-р экон. наук *О. Г. Голиченко*, имитировать свою приверженность инновационному пути развития, на деле ориентируясь на роль сырьевого придатка развитых стран, или встать на путь построения современной национальной инновационной системы, создавая для этого соответствующие инструменты и механизмы. Решения в этой области должны быть системными, здесь недостаточно поддерживать взаимодействие между государством, научно-исследовательской средой и бизнесом, а необходимо разработать институциональные механизмы, обеспечивающие соблюдение определенных рамочных условий этих взаимодействий.

Доцент Санкт-Петербургского государственного университета канд. экон. наук *Ю. В. Крылова* посвятила доклад вопросам, связанным с координацией субъектов инновационной деятельности, ускорением процессов информационного обмена, интеграцией технологического и стратегического планирования. Особое внимание было уделено разработке дорожных карт как одному из

наиболее эффективных инструментов координации интересов стейкхолдеров в инновационной сфере.

В качестве одного из институциональных механизмов, направленных на инкубирование научно-технических идей на дорыночной стадии их разработки, можно рассматривать инновационные центры, активно открывающиеся по всей России, отметил руководитель Инновационного центра Института точной механики и вычислительной техники им. С. А. Лебедева РАН *М. И. Гальперин*. Они призваны не только выполнять цели отбора и экспертизы проектов, но и осуществлять поиск инновационных идей, разработку бизнес-планов, привлечение инвесторов, обеспечивать физический запуск проекта и доведение его до стадии выхода на рынок.

Сотрудник Института проблем информатики РАН *С. Ю. Гутман* остановилась на проблеме анализа и сопоставления различных индикаторов, использующихся при сравнительной характеристике сферы исследований и разработок в России и странах ОЭСР.

Аспирант МАИ *М. В. Спицын* отметил, что при внедрении на предприятии информационных систем планирования ресурсов нередко возникают проблемы, связанные с управлением инновационным процессом. Структуризации этих проблем и предложениям по их нейтрализации был посвящен его доклад.

В последние годы мы стали жертвами так называемых «троянских» технологий, подаренных нам зарубежными партнерами и направленных на формирование в нашей стране дезориентирующих, ошибочных представлений о мире, отметил в своем докладе профессор МГТУ им. Н. Э. Баумана д-р техн. наук *А. И. Орлов*. В качестве примеров можно привести тезис об эффективности малого бизнеса, идею о приватизации как инструменте формирования «среднего класса», советы западных экспертов по развитию России в качестве сырьевой империи. Основная задача отечественного инновационного менеджмента, по мнению докладчика, заключается в разработке организационно-экономических методов стимулирования инновационных процессов в рамках крупных корпораций. Одним из институциональных механизмов, оптимизирующих управление инновациями, может стать формирование специальной структуры, занимающейся организационно-экономическим обеспечением инновационной деятельности.

Доцент Российской экономической академии им. Г. В. Плеханова канд. экон. наук *А. С. Козлов* остановился на проблемах интеграции программно-целевых и функционально-специализированных подходов к организации деятельности. Обосновывая необходимость такой интеграции, докладчик подчеркнул наличие естественных ограничений на этом пути и обрисовал основные механизмы их преодоления.

Обоснованию различий в оценках экономической эффективности инвестиций и инноваций посвятил свой доклад профессор Морской академии (г. Щецин, Польша) д-р экон. наук *С. А. Карганов*. Вложение капитала в приобретение производственных мощностей и в осуществление нововведений имеют разные цели, поэтому показатели их эффективности должны существенно различаться.

Менеджмент как научная дисциплина, отметил доцент Пензенского государственного университета архитектуры и строительства канд. фил. наук *М. В. Погодин*, порой обнаруживает описательность, теоретическую неоднородность и невыводимость ряда положений. В связи с этим необходимо произвести терминологические уточнения и указать на плодотворность применения деятельностного подхода и концепции формационного анализа и синтеза для исследования социально-экономических систем.

Аспирант Российского нового университета (г. Москва) *А. Ю. Киреев* проследил в своем докладе воздействие корпоративных захватов на развитие национальной инновационной системы России. Докладчик остановился на различных механизмах предотвращения недружественных захватов и кратко обосновал логику превентивных защитных мероприятий.

Заседание секции **«Макроэкономические аспекты управления инновациями»** открыл профессор кафедры экономики Гомельского государственного технического университета им. П. О. Сухого д-р хим. наук *Н. И. Егоренков*. Представляя доклад, подготовленный совместно с *Е. Н. Казаковой* и *М. Н. Стародубцевой*, он предложил фазовую (нелинейную) модель товарно-денежного хозяйства и рассмотрел гомеоморфное семейство уравнений состояния, связывающих основные макроэкономические параметры. Известное уравнение Ирвинга Фишера является для данной системы линейным приближением. Товарно-денежное хозяйство, отметил докладчик, может существовать в нескольких квазистационарных состояниях (способах производства), отличающихся друг от друга типом отношений собственности. Далее обсуждалась идентификация квазистационарных состояний и постановка задачи оптимизации этих состояний.

В докладе д-р экон. наук *С. А. Карганова* была предложена концепция оценки годового экономического эффекта от внедрения нововведений размером прироста ВВП в результате их использования. Разработанная автором методология предусматривает учет в годовом экономическом эффекте последствий изменения межотраслевых поставок продукции, возникших в результате внедрения нововведений. Докладчик остановился также на проблеме оценки экономических последствий протекционистских решений государства с точки зрения результатов инновационной деятельности. Проведение такой оценки возможно на основе разработанной автором модели межотраслевого баланса «Производство—Потребление», оптимизация которого может быть осуществлена при помощи предлагаемых в докладе алгоритмов.

Обострение макроэкономических проблем требует повышенного внимания к состоянию отраслевых рынков, связанных с инновационными процессами, подчеркнул студент Южно-Уральского государственного университета (г. Челябинск) *Д. С. Кочнев*. Один из них — это рынок многофункциональных платежных систем, текущий объем которого в нашей стране составляет около 4 млрд долл., а потенциальная емкость — примерно 30 млрд долл. Автором представлены данные о составе основных фондов предприятий, работающих в этой отрасли, динамике оборота денежных средств в платежных

системах, дана оценка региональных различий в развитии этого рынка. В недалеком будущем нас ожидает напряженная конкуренция на этом рынке в Москве и Санкт-Петербурге, где основными соперниками станут банки и традиционные платежные операторы. В регионах начнется бурный рост систем дистанционной оплаты, там следует ожидать появления новых участников рынка и укрупнения уже существующих сетей.

Студент Финансовой академии при Правительстве РФ, бакалавр экономики *Р. Х. Мамаев* представил свое видение основных причин и направлений экономического реформирования оборонного комплекса России. В числе возможных направлений докладчик отметил создание интегрированных научно-производственных структур, соединяющих в себе цепочку «НИОКР—испытания—производство», институциональное закрепление внутри ОПК сектора технологий двойного назначения, создание свободной экономической зоны для размещения ряда предприятий оборонного комплекса и смежных производств, реформирование ряда федеральных структур, полную реструктуризацию экспортной составляющей ОПК.

Старший преподаватель Сургутского государственного педагогического университета канд. экон. наук *В. Н. Хасанова* уделила внимание гендерному аспекту формирования человеческого капитала в нашей стране, очертила основные социально-экономические и демографические проблемы, характерные для современного состояния высшей школы и работы исследовательских организаций в России. Автором представлен вывод о том, что неблагоприятные социально-экономические факторы оказывают негативное влияние на гендерную структуру кадрового состава науки, на эффективность работы научных и образовательных учреждений в России. Демографические потери и неудовлетворительное состояние сферы НИОКР в России имеют один и тот же корень — ориентацию действий правительства на достижение краткосрочных результатов. Чтобы выправить ситуацию, необходимо принятие федеральных и региональных целевых программ поддержки науки как ключевого фактора экономического роста страны.

15 ноября в Институте проблем управления РАН состоялось заседание секции **«Региональные инновационные системы и моделирование инновационных процессов»**. Доклад доцента Государственного университета — Высшей школы экономики канд. физ.-мат. наук *О. А. Демидовой* был посвящен анализу инновационной активности российских регионов. Число организаций, выполняющих исследования и разработки, сократилось с 2000 по 2004 г. примерно на 10 % во всех федеральных округах. Лишь 30 % выпускников аспирантуры защищают кандидатские диссертации. Если эти тенденции сохранятся, то в ближайшем будущем может возникнуть дефицит молодых исследовательских кадров.

Аспирант Белорусского торгово-экономического университета потребительской кооперации (г. Гомель) *А. Ю. Хатько* представил нелинейную модель прогнозирования экономической динамики региона и различных его частей, апробированную на материалах Гомельской области. Разбиение области на Центр, Бицентр, Периферию и Эколого-депрессивную периферию (районы, пострадавшие от катастрофы на Чернобыльской АЭС) позволяет спрогнозировать траектории развития каждой из составных частей. Результаты моделирования показывают, что дифференциация уровня социально-экономического развития разных частей области в ближайшей перспективе будет углубляться. Предложен ряд рекомендаций, позволяющих в известной степени противодействовать сформировавшимся негативным тенденциям развития.

В докладе старшего преподавателя Нижегородского государственного университета им. Н. И. Лобачевского канд. экон. наук *М. Л. Горбуновой* были представлены механизмы координации региональных институтов в интересах инновационного развития. Следует учитывать, что далеко не все инструменты регулирования, апробированные на практике развитых стран, одинаково эффективно работают в России.

Межбюджетное регулирование выступает приоритетным направлением в системе управления финансовой устойчивостью территориальной бюджетной системы, отметила доцент Волгоградского государственного университета канд. экон. наук *Н. Н. Нелюбова*. Существующие сегодня методики межбюджетного регулирования (подушевая методика, покрытие расчетного финансового разрыва и выравнивание уровня бюджетной обеспеченности) не учитывают объективных различий экономических потенциалов территорий. Представленная в докладе методика, предлагающая использовать при расчете уровня бюджетной обеспеченности как налоговые, так и неналоговые доходы, стимулирует муниципалитеты к увеличению собственных доходов и к повышению эффективности использования бюджетных средств.

Д-р экон. наук *Д. А. Новиков* посвятил доклад обсуждению распределения Парето в задачах стимулирования. Известно, что в руках 20 % людей сосредоточено примерно 80 % всего национального богатства, 20 % всех сотрудников выполняют 80 % работы, и т. д. Данное распределение обладает свойством самоподобия: если найти и сохранить те 20 % сотрудников, которые выполняют 80 % всей работы в организации, а всех остальных уволить, то среди оставшихся будет действовать тот же закон: 20 % из них будут выполнять 80 % работы. Поэтому сокращение объема в Парето-распределенных случайных процессах не позволяет увеличить их эффективность. К тому же для ряда отраслевых рынков целью регулирования выступает не собственно «эффективность» (отношение результата к затратам), а достижение определенного объема производства (уровень насыщения).

Научный сотрудник Института экономики Карельского научного центра РАН канд. экон. наук *М. В. Сухарев* остановился на роли распределенных когнитивных моделей в управлении инновационными процессами. Смена господствующих парадигм управления обусловлена рядом объективных процессов, но применение той или иной из них требует наличия определенных представлений о критериях эффективности управления не только у лиц, принимающих решения, но и у тех, кем они управляют.

В докладе доцента Белорусского торгово-экономического университета потребительской кооперации (г. Гомель) канд. экон. наук *Л. П. Зеньковой* была пред-

ставлена нелинейная модель среднесрочного прогнозирования экономической динамики Республики Беларусь. Она позволяет не только выявить основные факторы циклических колебаний в экономике, но и обнаружить сравнительный вклад этих факторов в экономическую динамику. В белорусской экономике крайне велика роль институциональных факторов, которым следует уделить первостепенное внимание, разрабатывая долгосрочную стратегию экономического развития.

Аспирантка Московского физико-технического института *Н. Н. Морозова* представила ряд моделей, оптимизирующих управление проектами в условиях неопределенности. В качестве целевых задач рассматривались минимизация времени выполнения набора проектов и максимизация прибыли в долгосрочном периоде при условии, что доход от реализации каждого проекта носит вероятностный характер.

Сотрудник Института машиноведения им. А. А. Благонравова РАН *Н. В. Крупенина*, представляя доклад, выполненный совместно с д-ром техн. наук *В. Н. Треневым*, коснулась задачи формирования виртуального образа компаний в Интернете. Задача построения методики создания корпоративных сайтов предполагает оптимизацию использования терминальных символов при формировании гипертекста с использованием определенных правил вывода, порождаемых заданной формальной грамматикой.

В докладе руководителя отдела инновационного развития компании «Текора» *В. В. Матохина* были предложены механизмы оптимизации процессов принятия решений, основанные на проведении многоступенчатой экспертизы, позволяющей согласовать интересы руководящих и рядовых сотрудников организации. Докладчик остановился на статистических функциях распределения ресурсов и связанной с ними проблеме сопоставления числовых выборок на основе параметра энтропии, характеризующего соответствующие диаграммы Лоренца.

Доцент Вологодского государственного педагогического университета канд. техн. наук *А. Р. Кашенков* посвятил свой доклад понятию структурно-эквивалентных функций и их применению к задачам дискретного программирования.

На правах секции в рамках конференции «Управление инновациями — 2006» состоялась конференция **«Кадровое обеспечение инновационной деятельности организаций Московской области»**, прошедшая 15 ноября в ИПУ РАН. Декан факультета инновационно-технологического бизнеса Академии народного хозяйства при Правительстве РФ канд. техн. наук *В. Г. Зинов* во вступительном докладе остановился на ближайших перспективах осуществления инновационных процессов в Московской области и кадровых проблемах, сопровождающих эти процессы. Д-р экон. наук *О. Ф. Очин* кратко охарактеризовал состояние подготовки кадров высокой квалификации для предприятий и организаций Московской области и обозначил ключевые проблемы.

С докладами, посвященными инновационному образованию и инновационным процессам в организации образовательных программ, выступили заместитель главы администрации г. Серпухова *В. В. Гусев*, директор научно-образовательного центра кадровой поддержки инновационной деятельности Университета «Дубна» *В. И. Киселев*, зам. директора Инновационно-технологического центра РАН «Черноголовка» *В. М. Потапов*, директор Института открытого образования Московского государственного областного университета *М. Е. Вайндорф-Сысоева*, директор региональных программ Международного института менеджмента ЛИНК *А. В. Гусев*, ректор Института социально-экономического прогнозирования и моделирования (г. Балашиха) *В. П. Делия*.

Заключительное пленарное заседание конференции состоялось 15 ноября в Институте проблем управления РАН. С информацией о докладах и рекомендациях, прозвучавших на секционных заседаниях, выступили руководители и ведущие секций д-ра экон. наук *Р. М. Нижегородцев* и *О. Г. Голиченко*, канд. экон. наук *С. Ю. Румянцева*, д-р экон. наук *Н. И. Егоренков*, канд. техн. наук *В. Г. Яшин* (Академия народного хозяйства).

Выступая в свободной дискуссии, начальник научно-исследовательского сектора Кузбасского государственного технического университета (г. Кемерово) канд. экон. наук. *С. М. Никитенко* отметил, что в последнее время возрастает роль институциональных факторов в развитии инновационных процессов. Данная группа проблем нуждается в осмыслении и обсуждении. Целесообразно посвятить этой проблематике одно из заседаний следующей конференции «Управление инновациями — 2007».

Заведующий отделом промышленной и инновационной политики Института экономических проблем Кольского научного центра РАН канд. техн. наук *В. А. Цукерман* остановился на комплексном характере проблем развития северных регионов России. В докладе, подготовленном совместно с д-ром экон. наук *В. С. Жаровым* (Кольский филиал Петрозаводского государственного университета), акцентируется внимание на том, что в данной области причудливо переплетаются вопросы экономики, экологии, стратегической безопасности и многие другие. В дальнейшем следует усилить акцент на изучении региональной составляющей инновационных процессов, поскольку основная работа по развитию национальной инновационной системы России ныне перемещается в регионы.

Выступающие единодушно отметили высокий научный и организационный уровень конференции и высказали пожелание проводить ее ежегодно. Они поддержали идею выделения междисциплинарных, общетеоретических проблем в отдельное заседание, проходящее на правах круглого стола, — Друкеровские чтения, которые также должны проводиться не реже одного раза в год. Участники конференции выразили уверенность, что данный научный форум станет центром притяжения исследователей из всей России и ближнего зарубежья, работающих в области информационной экономики и экономического осмысления инновационных процессов, а электронный адрес конференции — innovconf@mail.ru — станет постоянно действующим.

Д-р экон. наук Р. М. Нижегородцев

e-mail: bell44@rambler.ru

МЕРОПРИЯТИЯ IFAC – Международной федерации по автоматическому управлению

Мероприятие	Дата	Место проведения
INSTICC IFAC Conference Informatics in Control, Automation and Robotics — ICINCO 2007	May 09—12, 2007	Angers, FRANCE
IFAC Workshop Technology Transfer in Developing Countries: Automation in Infrastructure Creation — TT	May 17—18, 2007	Izmir, TURKEY
IFAC Workshop Intelligent Assembly and Disassembly — IAD'2007	May 23—25, 2007	Alicante, SPAIN
IFAC Workshop Intelligent Manufacturing Systems — IMS'2007	May 23—25, 2007	Alicante, SPAIN
IFAC Symposium Computer Applications in Biotechnology — CAB10	June 04—06, 2007	Cancun, MEXICO
IFAC Symposium DYnamics and COntrol of Process Systems, DYCOPS—8	June 06—08, 2007	Cancun, MEXICO
IEEE/IFAC Workshop Robot Motion and Control — RoMoCo'07	June 11—13, 2007	Bukowy Dworek, POLAND
IFAC Workshop Dependable Control of Discrete Systems (IFAC DCDS'07)	June 13—15, 2007	Paris, FRANCE
Strep IFAC Workshop Networked Control Systems: Tolerant to Faults	June 20—July 21, 2007	Nancy, FRANCE
IFAC Symposium Automatic Control in Aerospace	June 25—29, 2007	Toulouse, FRANCE
ECCA IFAC Conference European Control Conference — ECC07 — in co-operation with IFAC	July 02—05, 2007	Kos, GREECE
IFAC Workshop CONVERGENCE of INFORMATION TECHNOLOGIES and CONTROL METHODS with POWER PLANTS and POWER-SYSTEMS	July 09—11, 2007	Cluj-Napoca, ROMANIA
AACC IFAC Conference American Control Conference ACC 2007 — in co-operation with IFAC	July 11—13, 2007	New York, USA
IFAC IFORS, IMACS, IFIP Symposium Large Scale Systems: Theory and Applications — 11th	July 23—25, 2007	Gdansk, POLAND
IFAC IEEE Control System Society Workshop Control of Distributed Parameter Systems	July 24—26, 2007	Namur, BELGIUM
IFAC/ASME 5th Symposium Advances in Automotive Control	August 20—22, 2007	Seascape Res, Aptos, USA
IFAC Symposium Automation in Mining, Mineral and Metal Processing MMM 12th	August 21—24, 2007	Quebec City, CANADA
IFAC Symposium Nonlinear Control Systems — NOLCOS (7th)	August 22—24, 2007	Pretoria, SOUTH AFRICA
IEEE IFAC Conference Methods and Models in Automation and Robotics	August 27—30, 2007	Szczecin, POLAND
IFAC Workshop Adaptive and Learning in Control and Signal Processing (ALCOSP07)	August 29—31, 2007	St.Petersburg, RUSSIA
IFAC Workshop Periodic Control Systems (PSYCO 2007)	August 29—31, 2007	St.Petersburg, RUSSIA

Дополнительную информацию см. на сайте http://www.ifac-control.org/

CONTENTS & ABSTRACTS

DECOMPOSITION-COORDINATED OPTIMIZATION WITH PARALLEL INFORMATION PROCESSING FOR NONLINEAR DYNAMIC SYSTEMS 2

Lychenko N. M.

Hierarchical algorithms are developed for the optimal control of interconnected nonlinear large-scale dynamic systems. The algorithms synthesis is based on decomposition-coordinated optimization technique with criterion adaptation in the two-level solution structure where the coordinated variables are fixed on the top level, while the independent optimization subproblems are solved on the lower one. For getting computational advantages, it is proposed to apply a concurrent scheme of coordinating variables calculation in the two-level solution structure, whereby the bottom-level optimization tasks are also solved concurrently.

ON THE CONDITIONS DEFINING STABILITY NATURE FOR SOME CLASSES OF NONLINEAR DYNAMIC SYSTEM 8

Zhukov V. P.

The paper shows that stability analysis for some classes of nonlinear dynamic systems of any order enables direct Lyapunov function construction based on the second member of the system's equation. This fact can be used not only for dynamic systems analysis but for their synthesis as well. The conditions determining the stability nature of isolated equilibrium states of autonomous nonlinear dynamic systems of any order are developed; these conditions have clear geometric interpretation. Sufficient and necessary/sufficient conditions for asymptotic stability as well as sufficient conditions for stability and instability are presented.

ON RISK PROBLEM DUE TO HUMAN FACTOR IN EXPERIMENTAL METHODS AND INFORMATION TECHNOLOGIES 11

Abramova N. A.

The problem of risks due to human factor in the tasks of practical management through expert methods and information technologies is examined as a complex problem comprising the whole lifecycle of such methods and information technologies. Some models of the mental influence of «outward intelligence» on the quality of managerial tasks accomplishment allowing for the risks are presented. Some principles and approaches aimed at confining the role of the identified risk types are proposed.

THE METHOD FOR HOMOGENEOUS EXPANSION OF SYSTEM AREA NETWORKS IN MULTIPROCESSOR COMPUTING SYSTEMS 22

Podlazov V. S.

The paper offers a method for homogeneous expansion of any system area networks that keeps their functionalities such as routing quality data transmission delays. The method enables simultaneous assemblage of large system area networks from small networks with specified functionalities.

INTERPOLATION TECHNIQUES IN TECHNICAL DIAGNOSIS 28

Tverdokhlebov V. A.

Key issues of technical diagnosis of large-scale and complex systems are discussed. A method for diagnostic models design using interpolation based on partial diagnostic information is expounded. The limitation on fault models application and the capabilities of diagnostic tools are determined by the complex diagnosis objects' inaccessibility for complete and precise description.

AN APPROACH TO CHECKYNG LARGE-SCALE DIGITAL SYSTEMS WITH TOROIDAL GRID-TYPE STRUCTURE 35

Vedeshenkov V. A.

An approach to parallel checking of large-scale digital systems with toroidal grid-type structure is presented. The system components are checked in three stages. At the first stage, parallel checking of the components of subsystems parceled out by primary apportionment is executed. At the second (third) stage, parallel subsystems including the connections adjacent to primary subsystem's nodes from the right (from below) are checked. A checking procedure for the components a subsystem with four nodes placed in 2×2 square's corners is developed and an example of its implementation is included.

MULTIRATE SYSTEMS FOR MULTIDIMENSIONAL SIGNAL PROCESSING. PART I 40

Tchobanou M. K.

Methods and tools for multidimensional digital signal processing extensively developed abroad over the past 20—30 years are discussed. Applications examples where multirate multidimensional digital signal processing is needed are adduced.

ADAPTIVE RANKING MECHANISMS 46

Tsyganov V. V., Arzhakov M. V., Bagamaev R. A.

The paper discusses the synthesis of progressive adaptive operation mechanisms of a two-level active system whose Center adjusts the parameter of classification decision rule. Based on classification results, the long-sighted system element is ranked and stimulated. Sufficient conditions of the progressiveness of adaptive ranking mechanisms are determined for long- and short-sighted Center.

OPTIMIZATION OF STIMULATION MECHANISM PARAMETERS 52

Shchepkina M. A.

The paper discusses the procedure for developing teamwork participation factors with the objective to increase the productivity of each team member's contribution under limited compensation fund.

MODELING OF PRICE DIVERSIFICATION AT EUROPEAN GAS MARKET AND THE IMPROVEMENT OF RUSSIAN NATURAL GAS EXPORT STRATEGY 56

Bogachkova L. Yu., Savitsky E. V.

The paper presents the modeling of price diversification in view of the risks of supply interruption to the present day German and All-European markets. Numerical analysis of market liberalization effect on the efficiency of Russian gas export is undertaken. Additional justification of some actions taken by the Russian government and the top management of RAO

Gazprom on the improvement of Russian strategy at world gas markets is made.

ANALYSIS AND SYNTHESIS OF AUDITORS' RISK MINIMIZATION MECHANISMS 61

Gladkov Yu. M., Mikrin E. A., Shelkov A. B.

The paper discusses the analysis and synthesis of the mechanisms of field audits efficiency and effectiveness improvement subject to auditor's risk minimization criterion. Graph models are employed.

EVALUATION OF ANTITERRORIST MONITORING PROJECTS IN A BIOTERRORISM PREVENTION SYSTEM 66

Samokhina A. S.

The paper discusses methods and algorithms used in a decision-making support system intended for determining, assessment, and selection of projects and tasks for antiterrorist monitoring to prevent bioterrorism.

COMPARATIVE ANALYSIS OF SOCIAL SYSTEMS MANAGEMENT IN CONTEMPORARY CHINA, WEST COUNTRIES, AND RUSSIA. 71

Rusyaeva E. Yu.

The results of interdisciplinary analysis of social systems management in contemporary China, West countries, and Russia are presented. Based on cultural history material, key criteria of management analysis are determined. Management features for different social models are identified, and the domains of attraction are shown for selecting priority lines of systems development.

SELECTING EFFECTIVE VARIANTS OF FISHING VESSELS OPERATION AND THEIR MODERNIZATION PLAN 78

Nyudyurbegov A. N.

The problem of developing an optimal long-term plan for fishing vessels operation in view of their maintenance and modernization is discussed. A case study is included.

THE SYNTHESIS OF A PREDICTIVE ANALOG OF SAMUELSON — HEEKS MODEL 80

Kolemaev V. A.

A more stable form of Samuelson—Heeks model is offered and its application for GDP doubling is investigated.

WELL INTERPRETABLE CLASSIFICATION DESIGN ALGORITHMS 83

Dorofeyuk A. A., Chernyavsky A. L.

A method for specifying a multi-dimensional classification making it more clear for practical specialist is offered. Design algorithms for such classifications are considered.

RUSSIAN 1st MULTI CONFERENCE ON CONTROL PROBLEMS. AN ANALYTICAL REVIEW. 85

«INNOVATIONS CONTROL — 2006»: THE STRATEGY OF INNOVATIVE DEVELOPMENT OF RUSSIA 88

Некоторые коммерческие разработки Института проблем управления им. Трапезникова РАН

- Процессор ввода-вывода на современных СБИС — относится к классу встраиваемых бортовых компьютеров отечественной разработки для необслуживаемых систем, ориентированных на сложные условия эксплуатации.
- Программные системы АДАПЛАБ-М и ГАММА-2РС, предназначенные для инженеров-разработчиков систем автоматического управления.
- Система автоматизированной диагностики и управления лечением заболеваний центральной нервной системы человека .
- Методика выявления реакции человека на малые дозы ионизирующего и неионизирующего воздействия.
- Компьютерная система диагностики на основе анализа ритмической структуры пульсового сигнала лучевой артерии.
- Виртуальный измеритель/анализатор параметров пассивных величин переменного тока.
- Программный комплекс для исследования и моделирования систем управления «Экспресс-Радиус», версия 2.1.
- Автоматизированная информационная система для руководителя (аппарата управления) производственно-хозяйственного комплекса типа городского хозяйства или крупного производственного объединения.
- Комплекс программ анализа надежности и эффективности систем:
  - программа моделирования надежности и производительности технологических систем ("BUNKER");
  - программа анализа надежности и эффективности систем на основе марковских процессов ("GRAF");
  - программа прогнозирования надежности и безопасности технических систем на основе логико-вероятностных методов ("RAY").

Подробности см. на сайте http://www.ipu.ru/kommer/komm.htm