

**Научно-технический
журнал
Выходит 4 раза в год**

УЧРЕДИТЕЛЬ

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

**Главный редактор
И.В. Прангишвили**

**Заместители главного
редактора
А.Н. Шубин, Ф.Ф. Пащенко**

**Научный редактор
Л.П. Боровских**

**Издатель ООО «СенСиДат»
Ген. директор Н.Н. Кузнецова**

Адрес редакции
117997, ГСП-7, Москва,
ул. Профсоюзная, д. 65, к. 104.
Тел./факс (095) 330-42-66,
тел.: (095) 334-92-00,
334-90-20

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

Оригинал-макет
и электронная версия
подготовлены ООО «АКИМ»

Отпечатано в типографии
ООО «ЭЛИТ-ЮТЕРНА»

Подписано в печать
10.11.2003 г.

Заказ № 38/11

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.

© СенСиДат, 2003 г.

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

3.2003

СОДЕРЖАНИЕ

Анализ и синтез систем управления

Гуляев С. В., Черепова Т. И., Шубладзе А. А., Шубладзе А. М.
Оптимальные по степени устойчивости системы управления
динамическими объектами 2

Информационные технологии в управлении

Попков Ю. С. Макросистемы и GRID-технологии: моделирование
динамических стохастических сетей 10
Крапухина Н. В., Пастухова К. М., Свиридов П. А. Методы
искусственного интеллекта в задачах оперативного управления
и оптимизации сложных технологических комплексов 21
Бернацкий Ф. И., Диго Г. Б., Диго Н. Б. Параллельные
вычисления в задачах управления 25

Системный анализ и обработка данных

Беляков А. Г., Мандель А. С., Борзенко Н. И. и др.
Экспертно-статистические системы прогнозирования временных
рядов и имитационно-оценочное моделирование 30

Проблемно ориентированные системы управления

Кузнецов Л. А. Системное представление финансово-
хозяйственной деятельности предприятия 39
Реймаров Г.А, Грицук Р. К., Ионов В. В. Программный комплекс
«Персона» как средство анализа и управления человеческим
капиталом предприятий 49
Смирнов С. В., Тюкавкин Д. В. Геоинформационная система
для поддержки принятия решений в органах управления
социально-образовательной сферой 54
Михальский А. И., Яшин А. И. Биологическая регуляция
и продолжительность жизни 61

Управление подвижными объектами

Портнов-Соколов Ю. П. Краткий очерк некоторых работ
по космонавтике Института проблем управления
им. В. А. Трапезникова 66

Хроника

**Третий семинар ИФАК «Автоматические системы для создания
инфраструктуры в развивающихся странах (Знания и техника)» 74**
**Конференция «Восток – Запад: проектирование
и диагностирование цифровых устройств»
(East – West Design & Test Conference) 77**

ОПТИМАЛЬНЫЕ ПО СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

С.В. Гуляев, Т.И. Черепова, А.А. Шубладзе, А.М. Шубладзе

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

Найдены оптимальные по степени устойчивости решения задачи управления аperiodическими объектами, поведение которых аппроксимируется динамическими моделями, представляющими собой последовательное соединение инерционных звеньев и инерционного звена с запаздыванием. Представлены переходные процессы в следящих системах максимальной степени устойчивости при управлении неустойчивыми колебательными объектами с запаздыванием.

ВВЕДЕНИЕ

Настоящая работа продолжает ряд публикаций [1–5], в которых представлены исследования по синтезу систем максимальной степени устойчивости на основе ПИ- [1, 2] и ПИД- [1, 3] законов управления. В работе [4] были даны достаточные условия оптимальности, а в работе [5] приведены условия и структуры оптимальных по степени устойчивости решений при произвольном порядке управления, характеризующихся наличием как действительных, так и комплексно-сопряженных пар корней характеристических полиномов. Условия оптимальности задавались в виде систем нелинейных алгебраических уравнений, решение которых для систем управления высоких порядков связано с большими вычислительными трудностями.

В данной работе для аperiodических объектов будут рассмотрены случаи синтеза систем максимальной степени устойчивости, когда среди крайних правых корней их характеристических полиномов одновременно присутствуют действительные корни и комплексно-сопряженная пара корней. Кроме того, будут представлены результаты моделирования переходных процессов в следящих системах максимальной степени устойчивости при управлении неустойчивыми колебательными объектами с запаздыванием.

Постановка задачи

Задачу синтеза оптимальных по степени устойчивости ПИД-регуляторов будем решать для объектов управления, поведение которых хорошо аппроксимируется динамическими моделями, представляющими собой последовательное соединение инерционных звеньев или инерционного и запаздывающего звеньев.

В случае конечномерного объекта связь между его выходным сигналом и управляющим сигналом определяется дифференциальным уравнением вида

$$x^{(n)}(t) + \sum_{i=1}^n a_i x^{(i-1)}(t) = k_0 u(t), \quad (1)$$

где $x^{(m)}(t)$ ($i = 0, \dots, n$) – фазовые координаты, a_i и k_0 – параметры, $u(t)$ – ПИД-управление вида

$$u(t) = k_{\text{П}} \varepsilon(t) + k_{\text{И}} \int_0^{\tau} \varepsilon(\tau) d\tau + k_{\text{Д}} \frac{d\varepsilon(t)}{dt}, \quad \text{где } n \geq 3, \quad (2)$$

$\varepsilon(t) = g(t) - x(t)$, $g(t)$ – задающее воздействие.

Оптимизируемыми являются параметры $k_{\text{П}}$, $k_{\text{И}}$ и $k_{\text{Д}}$, при которых имеет место максимальная степень устойчивости

$$I_{\text{оп}} = -\min \max \operatorname{Re} \lambda_j(b_i), \quad (3)$$



где λ_j – корни характеристического полинома

$$D_{n+1}(\lambda) = \lambda^{n+1} + \sum_1^n a_i \lambda^i + k_0(k_D \lambda^2 + k_{\Pi} \lambda + k_{И}), \quad (4)$$

который после замены λ на $\lambda_1 - I_{оп}$ при $k_{\Pi} = k_{Поп}$, $k_{И} = k_{Иоп}$ и $k_D = k_{Доп}$ принимает вид

$$D_n^*(\lambda_1, b_{iоп}) = \lambda_1^{n_g} \prod_{j=1}^{n_k} (\lambda_1^2 + \omega_j^2)^{\gamma_j} D_{n-n_g-n_k}^*(\lambda_1, b_{iоп}). \quad (5)$$

Требуется определить оптимальные значения $k_{Поп}$, $k_{Иоп}$ и $k_{Доп}$ и соответствующие им значения $I_{оп}$, n_g , n_k , ω_i и γ_i ($i = 1, \dots, n_k$).

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ КОНЕЧНОМЕРНЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ

Задачу (1)–(5) будем решать сначала для аperiodических объектов, задаваемых передаточной функцией вида

$$W(p) = \frac{k_0}{(T_1 p + 1)^{n-1} (T_2 p + 1)}, \quad T_2 > 10 T_1. \quad (6)$$

Передаточной функцией (6) можно с высокой точностью аппроксимировать поведение большинства промышленных динамических процессов, поэтому поиск оптимальных по степени устойчивости решений для модели (6) может иметь большое практическое значение.

Нетрудно видеть, что передаточной функции (6) при ПИД-управлении (2) соответствует характеристический полином вида

$$D_{n+1}(\lambda) = \lambda(T_1 \lambda + 1)^{n-1} (T_2 \lambda + 1) + k_0(k_D \lambda^2 + k_{\Pi} \lambda + k_{И}) \quad (7)$$

или при замене λ на $\lambda_1 - I$

$$D_{n+1}(\lambda_1) = (\lambda_1 - I)(T_1 \lambda_1 + 1 - T_1 I)^{n-1} \times (T_2 \lambda_1 + 1 - T_2 I) + k_0(k_D (\lambda_1 - I)^2 + k_{\Pi} (\lambda_1 - I) + k_{И}). \quad (8)$$

Покажем с помощью исследования годографа $D_{n+1}(i\omega)$ (8), что структура корней оптимального по степени устойчивости решения (3) зависит только от значений отношения $T_2/T_1 = g$ и n . При этом для любого значения отношения g существуют такие n_{g_i} ($i = 1, \dots, 4$), что при $n < n_{g_i}$ крайними правыми корнями полинома (7) оптимального решения являются четыре кратных действительных корня, при $n_{g_1} < n < n_{g_2}$ – три кратных действительных корня и комплексно-сопряженная пара корней, при $n_{g_2} < n < n_{g_3}$ – два кратных

действительных корня и комплексно-сопряженная пара корней, которым соответствует годограф $D_{n+1}(i\omega)$ (8), касающийся действительной оси, при $n_{g_3} < n < n_{g_4}$ – один действительный корень и кратная комплексно-сопряженная пара корней, при $n > n_{g_4}$ – кратная комплексно-сопряженная пара корней, которой соответствует годограф $D_{n+1}(i\omega)$ (8), касающийся действительной оси.

Рассмотрим каждый из указанных случаев в представлении (5).

Случай 1. $n_g = 4, n_k = 0, n < n^*$.

В этом случае при обратной замене в выражении (5) λ_1 на $\lambda + I_{оп}$ получим для оптимальной системы характеристический полином вида

$$D_{n+1}(\lambda) = \lambda^{n+1} + \sum_{i=1}^n a_i \lambda^i + k_0(k_D \lambda^2 + k_{\Pi} \lambda + k_{И}) = (\lambda + I_{оп})^4 D_{n-3}^*(\lambda + I_{оп}), \quad (9)$$

в котором полином $D_{n-3}^*(\lambda + I_{оп})$ имеет корни левее прямой $\lambda = -I_{оп}$.

Из выражения (9) следует, что третья производная полинома $D_{n+1}(\lambda)$ не зависит от параметров управления (2), поэтому ее крайний правый корень также не зависит от этих параметров. Значение этого корня и определяет степень устойчивости, т. е. $\max \text{Re} \lambda_i = -I_{оп}, i = 1, \dots, n - 2$, где λ_i –

$$\text{корни полинома } D_{n-2}(\lambda) = \frac{d^3 D_{n+1}(\lambda)}{d\lambda^3}.$$

При известном значении $I_{оп}$, уменьшая порядок дифференцирования, можно последовательно определить параметры управления $k_{Доп}$, $k_{Поп}$ и $k_{Иоп}$. Указанный процесс сводится к следующим формулам

$$\begin{aligned} I_{оп} &= -0,5 T_1^{-1} + 0,25 T_2^{-1}, \text{ при } n = 2, \\ I_{оп} &= -0,5(-b + (b^2 - 4ac)^{0,5})a^{-1}, \text{ при } n > 2, \\ a &= n(n+1)(n+2) T_1^3 T_2, \\ b &= n(n+1)((n-1)T_1 + 6T_2) T_1^2, \\ c &= 3n((n-1)T_1 + 2T_2) T_1 \end{aligned} \quad (10)$$

для определения степени устойчивости $I_{оп}$ и к формулам

$$\begin{aligned} k_D &= -0,5(-T_1 I_{оп} + 1)^{n-2} ((n+1)(n+2) T_1^2 T_2 I_{оп}^2 - (n+1)(n T_1 + 4 T_2) T_1 I_{оп} + 2(n T_1 + T_2)) k_0^{-1}, \\ k_{\Pi} &= -((-T_1 I_{оп} + 1)^{n-1} ((n+2) T_1 T_2 I_{оп}^2 - ((n+1) T_1 + 2 T_2) I_{оп} + 1) - 2 k_D k_0 I_{оп}) k_0^{-1}, \end{aligned} \quad (11)$$

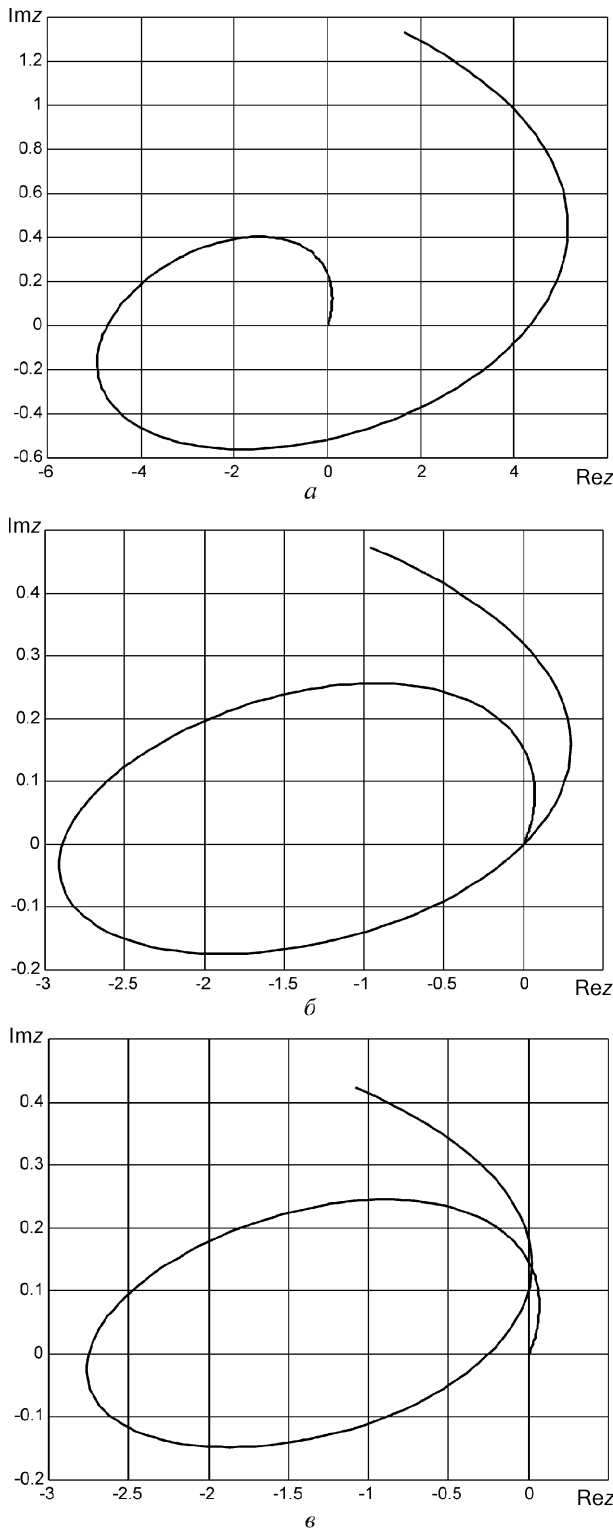


Рис. 1. Годографы характеристического полинома $z(i\omega) = D_{n+1}(i\omega - I)$ при $T_2 = 20/n$, $T_1 = 1/n$:

$a - n = 50$, $k_D = 0,0573$, $k_{II} = 0,3611$, $k_{III} = 0,5452$, $I = 2,0828$; $б - n = 80$, $k_D = 0,0404$, $k_{II} = 0,2978$, $k_{III} = 0,5661$, $I = 2,3321$; $в - n = 85$, $k_D = 0,0390$, $k_{II} = 0,2928$, $k_{III} = 0,5695$, $I = 2,3623$

$$k_{III} = -((-T_1 I_{оп} + 1)^n (T_2 I_{оп} - 1) I k_0^{-1} + k_D I_{оп}^2 - k_{II} I_{оп})$$

для определения параметров $k_{Доп}$, $k_{Поп}$ и $k_{Иоп}$.

Проведенные рассуждения показали, что необходимым и достаточным условием оптимальности в рассмотренном случае 1 является наличие всех $(n - 3)$ -х корней полинома $D_{n-3}^*(\lambda + I_{оп})$ из выражения (9) левее прямой $\lambda = -I_{оп}$ или устойчивость полинома $D_{n-3}^*(\lambda_1)$ при $\lambda = \lambda_1 - I_{оп}$.

При $n = n^*$ структура корней оптимального решения, как было отмечено, меняется. Строя годографы этого полинома $D_{n+1}(i\omega)$ (8) при $\omega > 0$ в зависимости от T_2/T_1 и n , можно для любого значения этого отношения найти такое $n = n^*$, при котором в оптимальном решении к нулевому корню кратности четыре добавится еще комплексно-сопряженная пара корней. Это значение n^* является граничным в структуре крайних правых корней оптимального решения.

На рис. 1, *а*, *б* и *в* показано, как выглядят годографы при $n < n^*$, $n = n^*$ и $n > n^*$, соответственно. При $n > n^*$, как следует из рис. 1, *в*, система управления является неустойчивой, что противоречит утверждениям работы [1].

Приведём таблицу зависимости значений n^* от отношения T_2/T_1 :

T_2/T_1	10	20	30	40	50	100
n^*	53	80	105	128	151	260

Найденные условия локального экстремума для $n < n^*$ являются и условиями глобального экстремума, так как крайний правый корень полинома совпадает с крайним правым корнем его третьей производной.

Как отмечалось, случай соответствующий рис. 1, *в*, не может быть оптимальным при $n > n^*$. Покажем, что при таких n крайними правыми корнями оптимального решения будут действительный корень кратности три и комплексно-сопряженная пара корней. Для этого рассмотрим следующую структуру корней оптимального решения.

Случай 2. $n_g = 3$, $n_k = 1$, $\gamma_1 = 1$.

Здесь крайними правыми корнями полинома (8) являются три нулевых кратных корня и одна мнимая комплексно-сопряженная пара корней с частотой ω_1 , а полином (7) имеет вид

$$D_{n+1}(\lambda) = (\lambda + I_{оп})^3 ((\lambda + I_{оп})^2 + \omega_1^2) \times D_{n-4}^*(\lambda + I_{оп}), \quad (12)$$

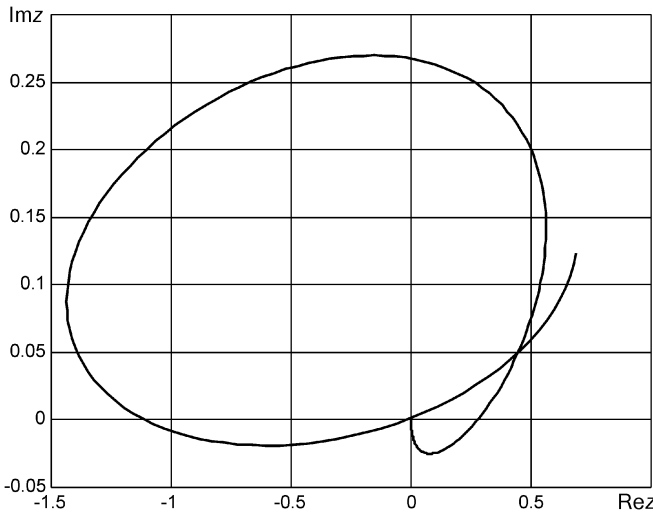


Рис. 2. Годограф характеристического полинома $z(i\omega) = D_{n+1}(i\omega - I)$ для граничного случая при $T_2 = 20/n$, $T_1 = 1/n$, $n > n^*$, $n = 300$, $k_D = 0,0122$, $k_{II} = 0,1851$, $k_{II} = 0,5543$, $I = 2,0500$

в котором полином $D_{n-4}^*(\lambda + I_{оп})$, как и в предыдущем случае, имеет корни левее прямой $\lambda = -I_{оп}$. В плоскости $\lambda_1 = \lambda + I_{оп}$ полином (12) становится равным

$$D_{n+1}(\lambda_1) = \lambda_1^3(\lambda_1^2 + \omega_1^2)D_{n-4}(\lambda_1). \quad (13)$$

Как показано в работах [7, 8], полиному (13) соответствуют условия

$$\Delta_{n-3}^{(0)}(I_{оп}) = 0, \Delta_j^{(0)}(I_{оп}) > 0, j = 1, \dots, n - 4, \quad (14)$$

где $\Delta_j^{(0)}(I_{оп})$ ($j = 1, \dots, n - 3$) – определители Гурвица полинома (13), которые зависят от $I_{оп}$ и не зависят от параметров управления (2). Поэтому равенство в выражениях (14) определяет значение $I_{оп}$, для которого справедливы все условия (14). При известном значении $I_{оп}$ находятся параметры $k_{Доп}$, $k_{IIоп}$ и $k_{Iоп}$ так, как это было сделано в случае 1, т. е. по формулам (14), или, что то же самое, по формулам

$$\frac{d^{i-1}D_n(\lambda)}{d\lambda^{i-1}} = 0 \text{ при } \lambda = -I_{оп}, i = 1, 2, 3, \quad (15)$$

где $D_n(\lambda)$ определяется из выражения (7).

На рис. 2 показан годограф полинома $D_{n+1}(i\omega)$ (13) при $i\omega = \lambda_1$ и $n = 300 > n^*$, $T_1 = 1/n$, $T_2 = 20T_1$. С помощью этого годографа можно доказать, что полученные условия локального экстремума (14) и (15) являются также и условиями глобального экстремума.

Как следует из результатов моделирования, при $T_2 = 20T_1$ рассмотренную структуру оптимального решения для модели (6) можно применять приблизительно до значения $n = 800$, но при таких высоких порядках сложно вычисляются оптимальные параметры, вследствие чего годографы теряют наглядность. Теоретически следующим возможным случаем оптимального решения являются два нулевых кратных корня и одна мнимая комплексно-сопряженная пара корней, но показать его методами машинного моделирования практически невозможно.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Рассмотренная динамическая модель (6) при $n \rightarrow \infty$ превращается в динамическую модель вида

$$W(p) = \frac{k_0 e^{-p\tau}}{Tp + 1}, \quad (16)$$

где τ – время запаздывания запаздывающего звена, T – постоянная времени инерционного звена. Будем рассматривать случай, когда $k_0 = 1$ и $\tau = 1$.

При управлении (2) модели (16) соответствует характеристический полином вида

$$D_\tau(\lambda) = e^{\lambda\tau}(T\lambda + 1) + k_0(k_D\lambda^2 + k_{II}\lambda + k_{II}) = e^{\lambda}(T\lambda + 1)k_D\lambda^2 + k_{II} + k_{II} \quad (17)$$

или при замене λ на $\lambda_1 - I$

$$D_\tau(\lambda_1) = e^{\tau(\lambda_1 - I)}(\lambda_1 - I)(T\lambda_1 + 1 - TI) + k_0(k_D(\lambda_1 - I)^2 + k_{II}(\lambda_1 - I) + k_{II}) = e^{(\lambda_1 - I)}(\lambda_1 - I)(T\lambda_1 + 1 - TI) + k_D(\lambda_1 - I)^2 + k_{II}(\lambda_1 - I)^2 + k_{II}. \quad (18)$$

Покажем, что при достаточно малых значениях отношения

$$g > \tau/T, \quad (19)$$

как и в случае модели (6), максимальная степень устойчивости полинома (17) имеет место, когда крайним правым корнем является действительный корень кратности четыре. В этом случае максимальная степень устойчивости $I_{оп}$ и оптимальные настроечные параметры k_D , k_{II} и k_{II} находятся из формул, аналогичных формулам (10) и (11), т. е.

$$I_{оп} = \frac{3}{\tau} + \frac{1}{2T} - \sqrt{\frac{3}{\tau^2} + \frac{1}{4T^2}},$$

$$k_D = \frac{1}{2k_0}(\tau^2(I_{оп} - TI_{оп})^2 - 2\tau(1 - 2TI_{оп}) - 2T)e^{-\tau I_{оп}}, \quad (20)$$

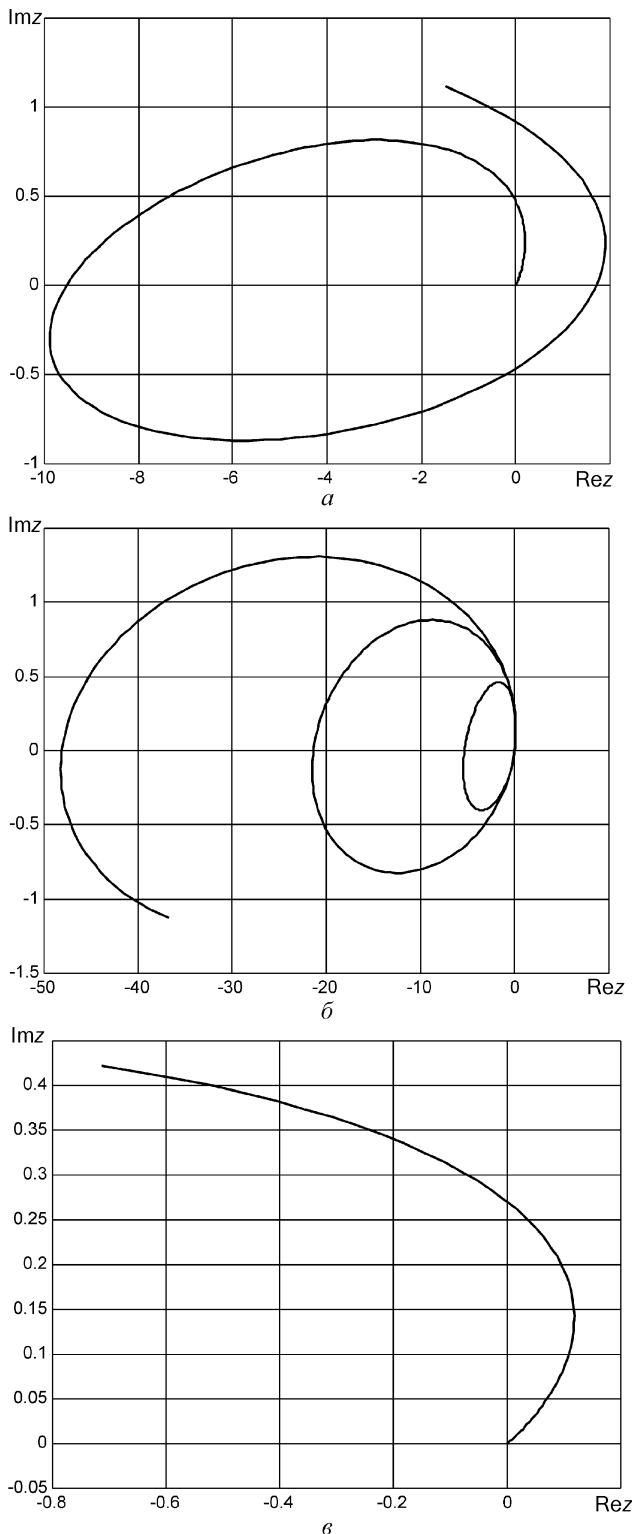


Рис. 3. Годографы характеристического полинома $z(i\omega) = D(i\omega - I)$ оптимальной системы с запаздыванием:
 $a - T = 0,8, I = 1,7836, k_D = 0,1131, k_{II} = 0,5870, k_{II} = 0,5591 (T < T^*)$; $b - T = 0,5, I = 2,000, k_D = 0,0677, k_{II} = 0,4060, k_{II} = 0,5413 (T < T^*), \omega \in [0; 20]$; $c -$ то же, но $\omega \in [0; 4]$

$$k_{II} = \frac{1}{k_0} (-\tau^2 T I_{оп}^3 + (\tau^2 + 3\tau T) I_{оп}^2 - \tau I_{оп} - 1) e^{-\tau I_{оп}},$$

$$k_{II} = \frac{1}{2k_0} (-\tau^2 T I_{оп}^4 + (\tau^2 + 2\tau T) I_{оп}^3 + 4T I_{оп}^2 - 4I_{оп}) e^{-\tau I_{оп}}.$$

Методами машинного моделирования можно показать, что структура корней оптимального по степени устойчивости решения зависит от отношения (19), т. е. существует определенное значение g^* такое, что при $T^* = 1/g^*$ ($\tau = 1$), $I_{оп}(T^*)$, $k_D(T^*)$, $k_{II}(T^*)$, и $k_{II}(T^*)$ имеет место система максимальной степени устойчивости, задаваемая уравнениями (20). А при $T > T^*$ структура оптимального решения меняется и, подобно рассмотренному случаю модели (6), необходимо применять другой метод для нахождения оптимальных решений.

Учитывая, что в нашем случае $k_0 = 1$ и $\tau = 1$, построим годографы для объекта с запаздыванием при различных значениях постоянной времени T . Для начала возьмём $T = 0,8$ и, рассчитав оптимальные коэффициенты по формулам (20), построим годограф (рис. 3, *a*), из которого видно, что этот случай оптимальный по степени устойчивости, но не является граничным, когда одна структура корней оптимального решения переходит в другую.

Уменьшая постоянную времени T до значения $T^* = 0,5$, получаем граничный случай перехода одной структуры корней в другую. Годограф $D(i\omega)$ (18) для этого значения T изображен на рис. 3, *b* для частот $\omega \in [0; 20]$ и для большей наглядности при относительно малых частотах $\omega \in [0; 4]$ на рис. 3, *в*. На рис. 4 показан годограф при $T = 0,4$. Из этого годографа видно, что найденное с помощью выражений (20) значение степени устойчивости и соответствующие ему настроечные коэффициенты не являются оптимальными. Это, как и в случае модели (6), также противоречит утверждениям работы [1].

При $T < T^*$ крайними правыми корнями полинома (18) являются три нулевых кратных корня и одна мнимая комплексно-сопряженная пара корней. Для этого случая можно применить те же необходимые и достаточные условия оптимальности, как и при рассмотрении объектов (6). Действуя подобным образом, получаем годограф оптимальной системы при $T = 0,05$, изображенный на рис. 5.

На рис. 6 приведен годограф для критического случая, когда три действительных и пара комплексно-сопряженных корней распадаются на два действительных корня и одну пару комплексно-сопряженных корней.

Действуя аналогично в случае двух действительных корней, варьируя коэффициенты I и k_D и находя значения коэффициентов k_{II} и k_{II} , получим годограф, изображенный на рис. 7.

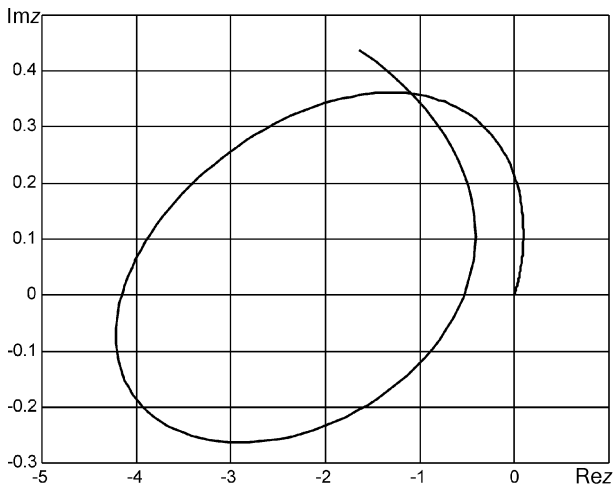


Рис. 4. Годограф характеристического полинома $z(i\omega) = D(i\omega - I)$ при $T = 0,4, I = 2,1140, k_D = 0,0549, k_{PI} = 0,3549, k_I = 0,4656 (T > T^*)$

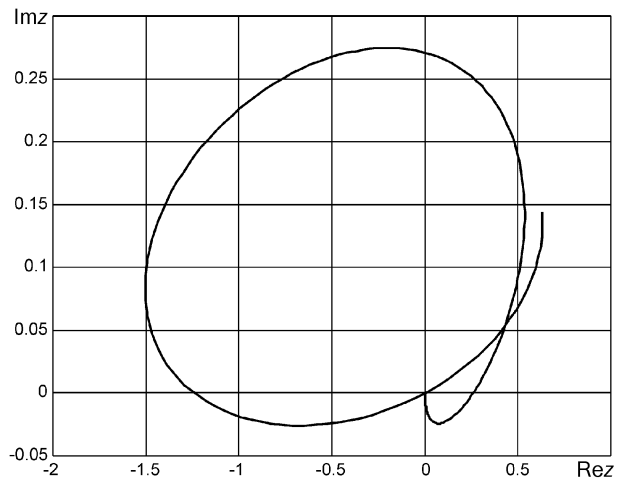


Рис. 5. Годограф характеристического полинома $z(i\omega) = D(i\omega - I)$ оптимальной системы с запаздыванием при $T = 0,1, I = 2,00, k_D = 0,0135, k_{PI} = 0,1895, k_I = 0,5413$

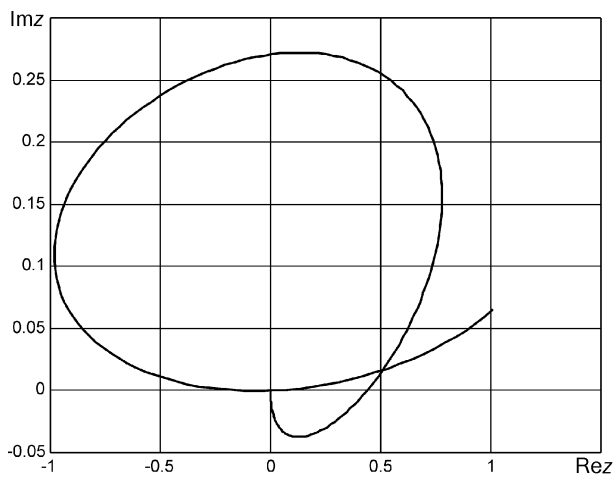


Рис. 6. Годограф характеристического полинома $z(i\omega) = D(i\omega - I)$ оптимальной системы с запаздыванием при $T = 0,03, I = 2,00, k_D = 0,0041, k_{PI} = 0,1516, k_I = 0,5412$

МОДЕЛИРОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ПО СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ СЛЕДЯЩЕЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НЕУСТОЙЧИВЫМ КОЛЕБАТЕЛЬНЫМ ОБЪЕКТОМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Представим результаты моделирования работы оптимальной по степени устойчивости системы при управлении неустойчивым колебательным объектом с запаздыванием с ПИ- и ПИД-регуляторами.

Из изложенного следует, что при синтезе системы максимальной степени устойчивости определяются не только значения оптимальных настраиваемых параметров указанных выше законов управления и значение степени устойчивости, которая при этих значениях достигается, но и значе-

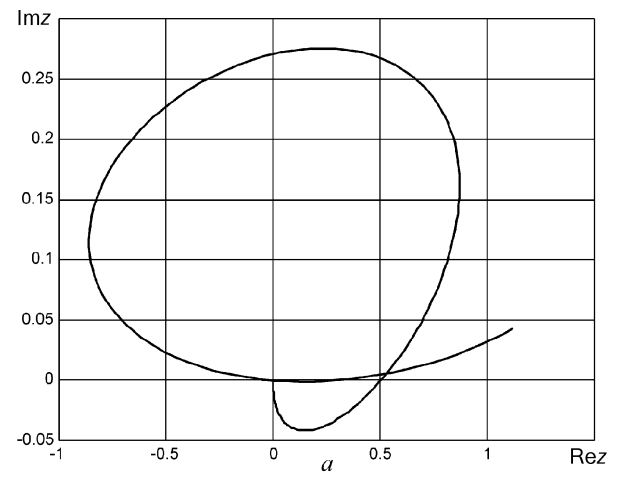
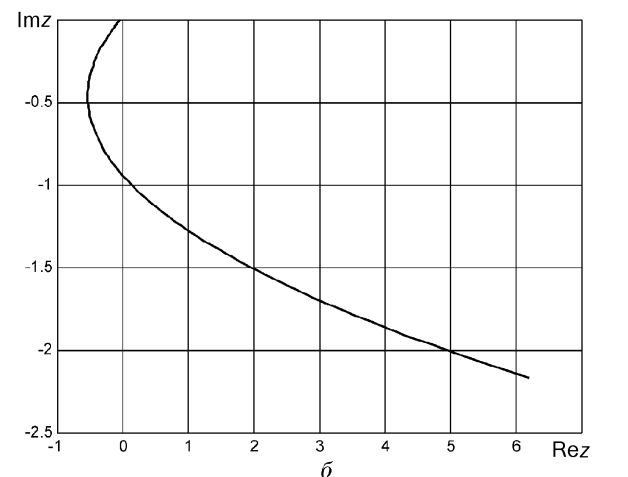


Рис. 7. Годографы характеристического полинома $z(i\omega) = D(i\omega - I)$ оптимальной системы с запаздыванием при $T = 0,01, I = 2,00, k_D = 0,0014, k_{PI} = 0,1409, k_I = 0,5415$: $a - \omega \in [0; 10]; \delta - [0; 0,1]$



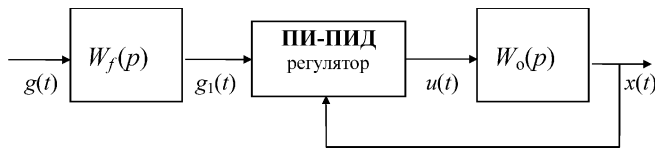


Рис. 8. Структура оптимальной по степени устойчивости следящей системы

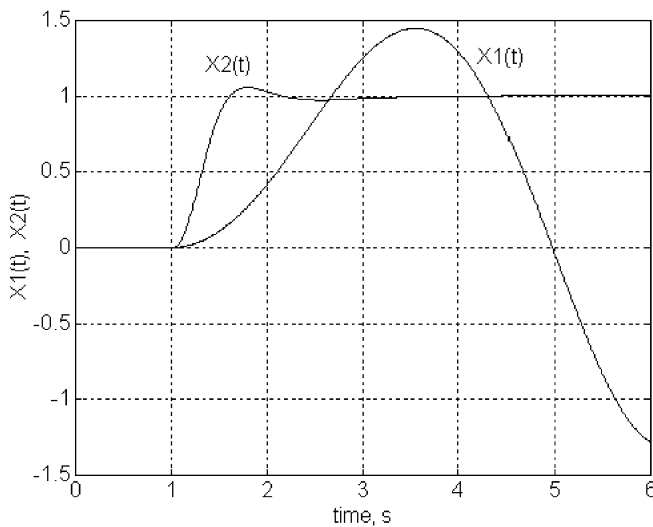


Рис. 9. Переходные процессы в объекте управления и оптимальной следящей системе с ПИ-управлением

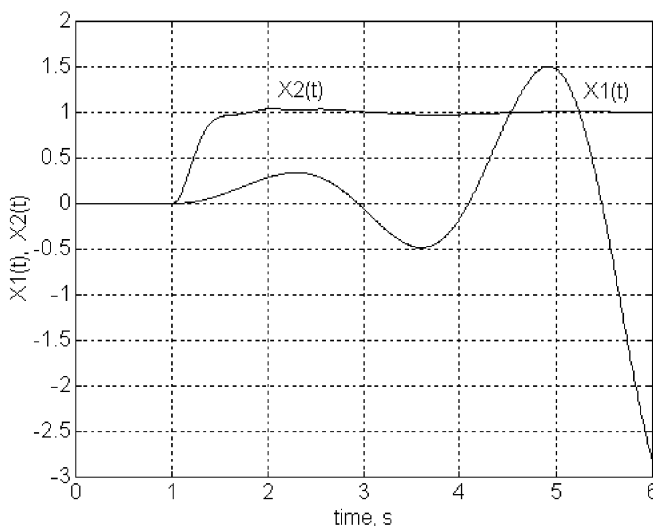


Рис. 10. Переходные процессы в объекте управления и оптимальной следящей системе с ПИД-управлением

ния крайних правых, самых «медленных» корней оптимальных характеристических полиномов замкнутых систем управления.

Зная значения этих корней, можно обеспечить их влияние на работу следящих систем сколь угодно малым с помощью преобразования задающего воздействия линейным динамическим оператором, полином числителя передаточной функции которого имеет тот же порядок и те же корни, что и известные. Полином знаменателя может быть того же или более высокого порядка, что и полином числителя, причем корни полинома знаменателя должны располагаться существенно левее значения, определяющего степень устойчивости оптимального характеристического полинома.

На рис. 8 изображена структура системы управления максимальной степени устойчивости.

В качестве примера рассмотрим задачу управления неустойчивым колебательным объектом с запаздыванием, передаточная функция которого

$$W_0(p) = \frac{ke^{-p\tau}}{T^2 p^2 - 2\xi Tp + 1}.$$

Пусть в первом случае $T = 0,8$, $\xi = 0,2$, $\tau = 1$ и $k = 1$. Система обрабатывает ступенчатое единичное воздействие $g(t)$. В качестве регулятора используется ПИ-регулятор. Параметры этого регулятора и входного формирующего фильтра $W_f(p)$ оптимизируются по критерию максимальной степени устойчивости. На рис. 9 изображены начальная часть реакции $x_1(t)$ рассматриваемого объекта на ступенчатое воздействие амплитуды 0,5 и реакция $x_2(t)$ системы управления (см. рис. 8) на единичное ступенчатое воздействие $g(t)$.

Во втором случае $T = 0,4$, $\tau = 1$ и $\xi = 0,27$. При этих значениях максимальная степень устойчивости с ПИ-управлением не может быть сделана положительной, поэтому решает задачу управления в этом случае ПИД-управление.

На рис. 10 изображены начальная часть реакции $x_1(t)$ рассматриваемого неустойчивого объекта на ступенчатое воздействие амплитуды 0,2 и реакция системы (см. рис. 8) с ПИД-регулятором при единичном ступенчатом воздействии $g(t)$.

Видно, что при управлении такими проблемными динамическими объектами с помощью оптимальных по степени устойчивости ПИ- и ПИД-регуляторов можно обеспечить не только устойчивость, но и высокое быстродействие следящих систем управления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе для аperiodических конечномерных объектов и объектов с запаздыванием найдены оптимальные по степени устойчивости ре-



шения задач синтеза систем управления, которые определяются крайними правыми корнями характеристических полиномов этих систем. Причем для рассмотренных классов объектов такими корнями являются действительный корень кратности не более четырех и комплексно-сопряженная пара корней. Приведенные в заключительной части работы результаты моделирования оптимальных следящих систем показывают, что применение разработанной теории в задачах построения быстродействующих систем управления сложными, проблемными динамическими объектами может быть весьма эффективным. Поэтому предложенные в работе способы построения оптимальных систем могут иметь большое практическое значение при управлении подвижными объектами, объектами топливно-энергетического комплекса, объектами черной и цветной металлургии и др.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гурецкий Х. Анализ и синтез систем управления с запаздыванием. — М.: Машиностроение, 1974.
2. Шубладзе А. М. Методика расчета оптимальных по степени устойчивости ПИ-законов управления. I // Автоматика и телемеханика. — 1987. — № 4. — С. 16–25.
3. Шубладзе А. М. Методика расчета оптимальных по степени устойчивости ПИД-законов управления. II // Автоматика и телемеханика. — 1987. — № 6. — С. 50–59.
4. Шубладзе А. М. Достаточные условия оптимальности структур в системах максимальной степени устойчивости. II. // Автоматика и телемеханика. — 1997. — № 8. — С. 67–79.
5. Шубладзе А. М. Достаточные условия оптимальности структур в системах максимальной степени устойчивости произвольного вида // Автоматика и телемеханика. — 1999. — № 8. — С. 43–57.

☎ (095) 334-88-81

E-mail: shub@ipu.rssi.ru □

ABSTRACTS

Gulyaev S.V., Cherepova T.I., Shubladze A.A., Shubladze A.M.

DYNAMIC OBJECT CONTROL SYSTEMS OPTIMAL WITH RESPECT TO THE DEGREE OF STABILITY

The paper gives the solutions, which are optimal with respect to the degree of stability, to the problem of aperiodic objects control. The behavior of such objects is described by dynamic models that consist of several inertial elements and an inertial delay element. The transients in servosystems with maximum degree of stability that control unstable oscillating delay objects are presented. — P. 2.

21

Одиннадцатая международная конференция

«ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ»

(декабрь 2003 г.)

Предполагается рассмотреть: проблемы и методы оценки безопасности различного типа; механизмы управления безопасностью; правовое регулирование вопросов безопасности; формирование структур систем управления безопасностью; теория и методы принятия решений, связанные с безопасностью; прогнозирование и моделирование процессов управления безопасностью; планирование и стратегическое управление в системах обеспечения безопасности; методы построения средств информационной поддержки принятия решений в системах управления безопасностью; системы управления силами и средствами при управлении безопасностью.

Конференция состоится в Институте проблем управления РАН по адресу: Москва, ул. Профсоюзная, д. 65. Официальные языки конференции – русский, английский. Продолжительность работы конференции – 1 день.

Заявки на участие в конференции без доклада будут приниматься до 1-го декабря 2003 г.

Адрес для переписки:
Москва, В-342, ГСП-7, 117997
ул. Профсоюзная, д. 65.
Институт проблем управления, лаб. 20.
Оргкомитет международной конференции.

Тел.: (095) 334-89-59

E-mail: Conf20@ipu.rssi.ru

МАКРОСИСТЕМЫ И GRID-ТЕХНОЛОГИИ: МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СТОХАСТИЧЕСКИХ СЕТЕЙ¹

Ю.С. Попков

Институт системного анализа, г. Москва

Рассмотрено развитие Интернета в ближайшей перспективе (GRID) как динамической стохастической сети, состояние которой характеризуется пространственными распределениями информационно-вычислительных ресурсов и информационных потоков. На базе обобщенного принципа максимизации энтропии предложены модели локально-стационарных состояний сети, входящие в качестве составной части в модель эволюции информационно-вычислительных ресурсов, которая относится к классу позитивных динамических систем с энтропийным оператором.

ВВЕДЕНИЕ

Развитие и совершенствование характеристик всемирной паутины (Интернета), реализованных в огромных скоростях информационного обмена, гигантских объемах информационных ресурсов и вычислительных мощностей, способствовало укреплению восприятия сети как общедоступного и универсального компьютера. До настоящего времени Интернет используется в основном как информационно-коммуникационная система, а распределенные в ней огромные вычислительные ресурсы используются для решения уникальных задач в так называемом пакетном режиме. При этом сеть есть коммуникационный инструмент между уникальным пользователем и уникальным вычислителем (суперкомпьютером).

Но если программно-технические характеристики сети приближаются к внутрикомпьютерным, то существуют все основания рассматривать ее как компьютер с заключенным в нем пространственно распределенным информационно-вычислительным ресурсом. Когда пользователь обращается к

каким-либо компьютерным ресурсам, его не интересует их локализация на твердом диске. Иллюстрация этой ситуации приведена на рис. 1, где изображен пример магистральных коммуникаций в компьютерной сети и пользователь, воспринимающий сеть как интегрированный компьютер. Здесь ситуация аналогична той, с которой мы сталкиваемся, общаясь с электрической сетью: мы пользуемся электрическим ресурсом, не интересуясь, где он локализован.

Реализация этих свойств в Интернете превратит его в сеть с принципиально новыми качествами, которые отражены и в новом термине – GRID. Выбор этого термина не случаен. В нем подчеркивается идентичность восприятия пользователем компьютерной и электрической сетей в смысле инвариантности к пространственному распределению информационно-вычислительных ресурсов.

Принципиальные особенности GRID проявляются тогда, когда сеть используется для распределенных вычислений, причем таких, которые должны воспроизводить реальную динамику. Но вначале рассмотрим более простую задачу. На рис. 2 изображен участок GRID, в котором циркулирует информация от некоторого количества пользователей (светлые экраны). В результате в данном участке сети реализуется в каждый момент време-

¹ Работа доложена на Второй международной конференции по проблемам управления (Москва, 2003 г.).



ни какое-то распределение информационных потоков. Поскольку количество пользователей, их информационные запросы, а также внешние для данного участка сети потоки нерегулярны, то распределение информационных потоков в данном участке сети можно рассматривать как случайное. В какой-то момент времени к сети подключается новый пользователь (темный экран), например, расположенный на острове Пасхи и занимающийся туристическим бизнесом. В силу его профессиональной ориентации он нуждается в определении кратчайших по времени или по стоимости маршрутов на о. Пасхи и обращается с соответствующим заданием в GRID, где производится сборка необходимых вычислительных ресурсов и решается эта задача. Пользователю неважно, какой для этого используется вычислительный ресурс и где он размещен. Ему важно, чтобы соответствующие программно-технические средства обеспечивали в разумное время решение этой задачи. С другой стороны, время отклика не слишком критично для него (разумное время), так как сама задача статическая, в том смысле, что она не связана с предысторией.

Рассмотрим теперь простую динамическую задачу – решение в некоторой принятой временной шкале t двух обыкновенных дифференциальных уравнений, но каждое размещено на пространственно отдаленных компьютерах. Пусть на компьютере A размещено уравнение

$$\dot{x}_1(t) = f_1(x_1(t), x_2(t)),$$

а на компьютере B – уравнение

$$\dot{x}_2(t) = f_2(x_1(t), x_2(t)).$$

Пусть также для их решения применяется метод Эйлера, т. е.

$$\begin{aligned} x_1[(n+1)h] &= x_1[nh] + hf_1(x_1[nh], x_2[nh]) \\ x_2[(n+1)h] &= x_2[nh] + hf_2(x_1[nh], x_2[nh]), \end{aligned} \quad (1)$$

где h – шаг разностной схемы в принятой временной шкале t .

Какова процедура (конечно, виртуальная) распределенного решения этих уравнений (рис. 3)? На обоих компьютерах задаются начальные условия $x_1[0], x_2[0]$ и вычисляются $x_1[h], x_2[h]$. Эти значения по каким-то маршрутам в сети передаются от компьютера A в компьютер B и наоборот. Но соответствующие маршруты в силу общественного использования сети могут быть загружены так, что возникает некоторое запаздывание ε в передаче этих данных, длительность которого случайна. Следовательно, компьютер A получит информацию о $x_2[h - \varepsilon]$ вместо $x_2[h]$ и компьютер B получит информацию о $x_1[h - \varepsilon]$ вместо $x_1[h]$. Таким образом,

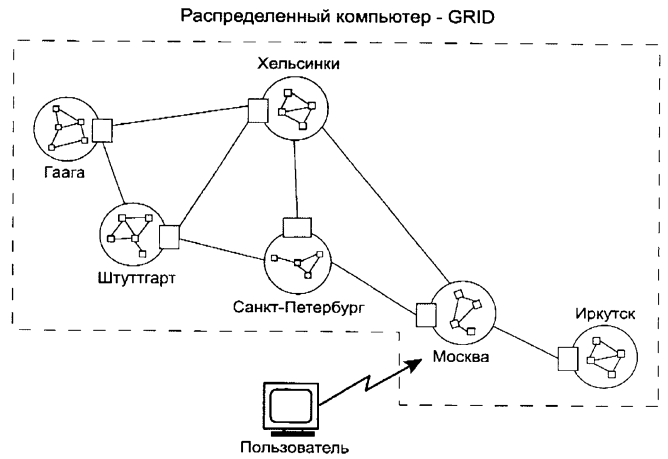


Рис. 1. Пример магистральных коммуникаций в компьютерной сети

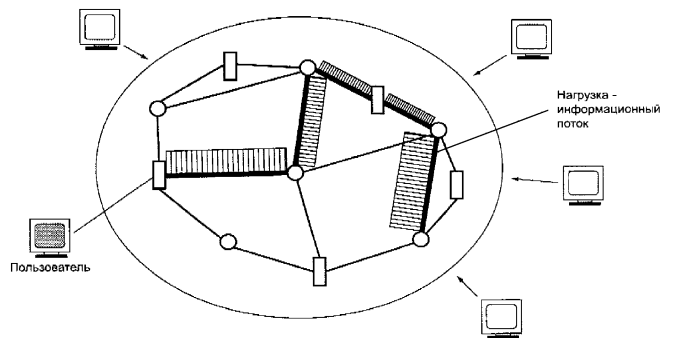


Рис. 2. Пример участка GRID

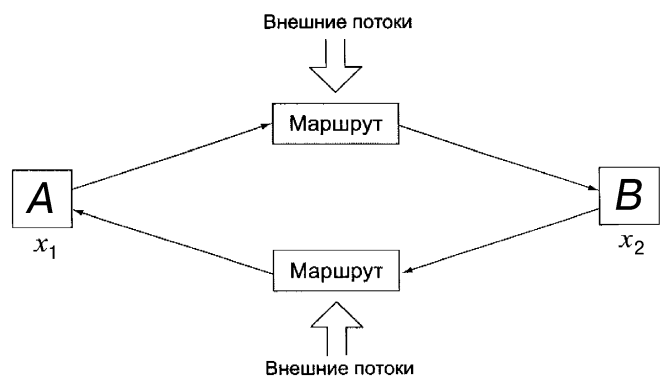


Рис. 3. Иллюстрация процедуры распределенного решения уравнений (1)

вместо разностной схемы (1) мы имеем разностную схему следующего вида:

$$\begin{aligned}x_1[(n+1)h] &= x_1[nh] + hf_1(x_1[nh], x_2[n(h-\varepsilon)]) \\x_2[(n+1)h] &= x_2[nh] + hf_2(x_1[n(h-\varepsilon)], x_2[nh]).\end{aligned}$$

Она моделирует совсем другие уравнения, которые могут обладать принципиально иными свойствами.

Здесь просматривается еще одна особенность сети как динамического объекта. Ощутимые запаздывания в сети есть следствие перегрузки каких-то ее звеньев из-за ограниченной пропускной способности, а перегрузки связаны с информационными потоками, которые могут быть как внешними по отношению к данной задаче, так и генерируемыми ею. Иными словами, запаздывание ε есть функция состояния сети.

Разумеется, этот пример приведен не для того, чтобы показать, что распределенные динамические вычисления невозможны. Он предназначен для понимания того, что сеть есть динамический объект (даже суперскоростная), причем ее динамические характеристики случайным образом зависят от ее состояния, описываемого в терминах случайного распределения информационных потоков.

На феноменологическом уровне GRID представляет собой стохастическую динамическую сеть, распределение информационных потоков в которой характеризует её состояние. Это распределение — случайное, причем случайность понимается именно в терминах теории вероятностей: существует множество элементарных событий (информационных транзакций), на котором можно определить σ -алгебру и вероятностную меру.

Динамичность GRID, иными словами, ее инерция, возникает на уровне эволюции распределения информационных потоков. Если наблюдать за этой эволюцией в дискретные моменты времени $t_1, \dots, t_m, \dots, t_n, \dots$, то состояние сети в произвольный момент времени t_n в общем случае будет зависеть от ее состояний на некотором конечном интервале времени $[t_m, t_{n-1}]$, причем $t_m < t_{n-1} < t_n$. Но в силу того, что скорости передачи информации и пропускные способности коммуникаций весьма высокие, «память» сети $t_{n-1} - t_m$ вряд ли будет столь «глубокой». Вполне правдоподобной может быть гипотеза о том, что динамика GRID — марковская, т. е. состояние сети в момент времени t_n определяется ее состоянием в момент времени t_{n-1} и дополнительными информационными потоками, порождаемыми пользователями, которые присоединились к сети в момент времени t_n .

Исследования GRID как *стохастической динамической сети* только начинаются. Большинство

работ в этой области посвящено проблемам маршрутизации в стохастических сетях. В частности, в работах [1–3] развивается подход, основанный на максимизации функции полезности с помощью нейронных сетей. Предлагаемые здесь алгоритмы экспериментально исследуются на тестовой модели. Синтезированные маршруты сравниваются по длительности среднего запаздывания для типовых нагрузок в сети. Другое направление связано с анализом влияния различных случайных факторов, прежде всего, случайного изменения маршрута, на качество функционирования сети. Обычно под качеством имеется в виду среднее запаздывание [4–6].

Ранее уже отмечалось, что GRID — это динамическая система, которая может иметь несколько стационарных состояний. Среди них могут быть такие, в которых фактически нарушается нормальная работа сети. Если пользоваться физической терминологией, в GRID могут возникать фазовые переходы. Этой проблеме посвящены, в частности, работы [7, 8], где рассматривается сеть со структурой двоичного дерева (Cayley tree) и экспериментально (методом Монте-Карло) определяются некоторые ее характеристики в зависимости от активности пользователей. Оказывается, что при определенном уровне активности пользователей сеть скачком переходит в состояние, где среднее запаздывание становится неприемлемым.

Как система GRID состоит из частей — сетей национального, регионального и других уровней. Поэтому естественен интерес к системным (коллективным) свойствам этой большой системы. Отметим, что универсального и общепринятого определения системных свойств не существует. Казалось бы, очевидное определение — «системным является свойство, отличное от свойств частей» — часто оказывается неконструктивным, так как установить свойства частей невозможно. В некоторых работах, посвященных стохастическим динамическим сетям, под системным свойством понимается возникновение в сети потоков, спектр мощности которых имеет вид $1/f^\alpha$, где $\alpha \in (0, 2)$ и f — частота. В частности, этим проблемам посвящены работы [9–14].

Важным компонентом распределенного вычислительного процесса является поиск необходимого или подходящего вычислительного ресурса. В среде GRID предполагается осуществлять его автоматически. Разработка такого программного обеспечения в значительной степени опирается на изучение поискового поведения различных типов пользователей Интернета. В частности, в работах [15, 16] рассматривается количество связей в дереве поиска (clicks), которые проходят различные типы пользователей для обнаружения необходимой им



информации. На весьма внушительных выборках (27000 пользователей, 1 млн. web-сайтов) показано, что инверсное гауссово распределение достаточно точно описывает интегральное распределение числа связей, причем его «насыщение» (интегральная вероятность равна ~ 1) достигается при числе связей порядка 10. Этот же результат имеет место при исследовании распределения частот (дискретный аналог плотности распределения).

Пожалуй, наиболее продвинуты исследования *транспортных сетей*, т. е. таких стохастических динамических сетей, по которым перемещаются пассажиры либо грузы, либо транспортные средства. Список литературы, посвященной изучению, оптимизации, моделированию транспортных потоков исследованию возможностей управления ими, огромен; он насчитывает не менее тысячи наименований (см. например, сайт Traffic Forum: <http://vwisb7.vkw.tu-dresden.de/TrafficForum/library.html>). Упомянем также специализированный журнал «Transportation Research» и некоторые монографии ([17–20]).

Другим примером стохастических динамических сетей являются *трубопроводные сети*. Отметим, что уровень стохастичности довольно сильно зависит от типа перемещаемого по сети материала. Так, если это нефть или газ, то источники и стоки в такой сети, как правило, определены, и их объемы не меняются в течение значительного промежутка времени. Стохастические явления в сети связаны обычно с какими-то внешними воздействиями (природными, техническими и др.) [21]. Если же трубопроводная сеть предназначена для транспортировки сыпучих материалов, то, в силу физико-химических свойств этого потока, уровень стохастичности состояния такой сети может быть значительным [22].

И, наконец, еще одним примером стохастических динамических сетей являются *электроэнергетические сети*. Здесь также основным источником стохастичности являются потребители. Однако из-за того, что энергетический ресурс является часто источником жизнедеятельности, основная часть исследований таких сетей связана с разработкой систем оперативного управления при переменной нагрузке.

Мы уже отмечали, что исследования сетевых свойств GRID только начинаются, и одно из направлений связано с применением методов, принципов и моделей теории макросистем. Базовые феноменологические основы теории макросистем кажутся весьма адекватными тем явлениям и процессам, которые происходят в GRID. Конечно, при этом имеется в виду не технология сети, не программно-технические средства, заложенные в ней, а ее качественные макросвойства как динамической системы.

ФЕНОМЕНОЛОГИЯ GRID И ЗАДАЧИ ЕЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КАК ДИНАМИЧЕСКОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СЕТИ

Не углубляясь в технологические детали, GRID можно рассматривать как обычную сеть — неориентированный граф, пример которого показан на рис. 4. В узлах сети размещены носители информационно-вычислительных ресурсов. В реальной сети устройства, обеспечивающие доступ, и носители ресурса могут быть функционально и пространственно разделены. Однако для наших целей это разделение не важно, так как информационные потоки между пользователями, устройствами доступа и носителями ресурса, хотя и могут быть критическими для соответствующих коммуникаций, значительно меньше тех, которые циркулируют в сети, и не оказывают заметного влияния на ее состояние.

Таким образом, можно предположить, что в каждом узле сети расположен носитель информационно-вычислительного ресурса с объемом $X_i(t)$ и потребитель этих ресурсов (пользователи), которого также можно характеризовать некоторым объемом необходимой информации $Q_i(t)$. И тот, и другой показатели соответствуют определенному моменту времени t .

Объем информационно-вычислительного ресурса $X_i(t)$ меняется сравнительно медленно (обновление программных средств, баз данных и т. п.). Но эти изменения стимулируются в значительной степени потребностями пользователей и потоками информации, циркулирующей в сети. Объем потребности в информационных ресурсах $Q_i(t)$, напротив, изменяется достаточно быстро. Поскольку

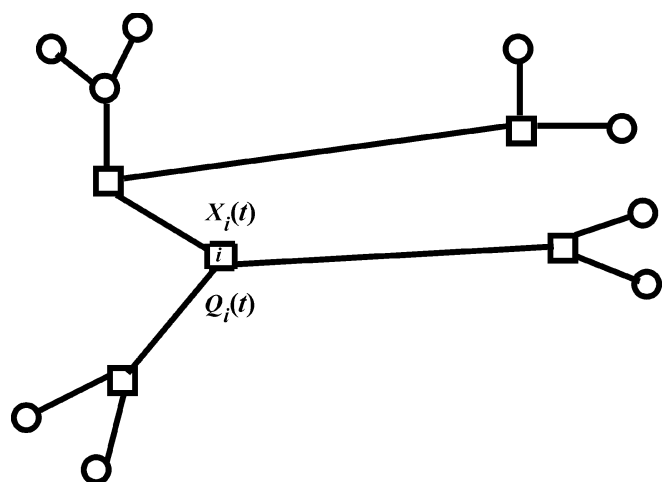


Рис. 4. Пример представления участка GRID неориентированным графом

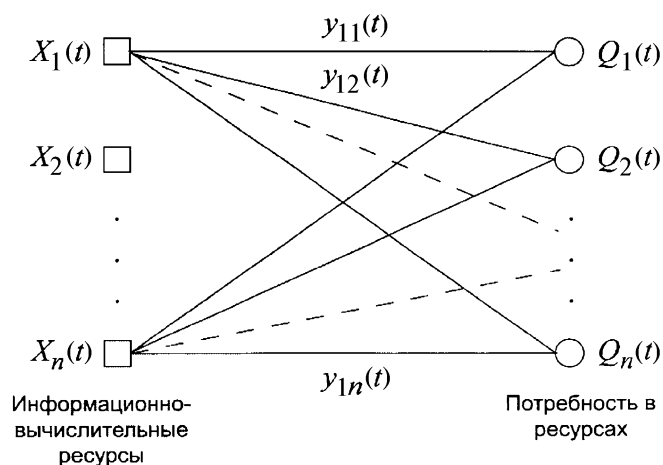


Рис. 5. Граф корреспонденций между носителями и потребителями ресурсов

потребность в информационных ресурсах связана с непредсказуемым количеством пользователей, оккупирующих сеть через узел i , то объем $Q_i(t)$ для каждого момента времени t есть случайная величина. Более тонкая структура $Q_i(t)$ как случайного процесса может быть установлена в результате специальных исследований.

Наряду с графом сети (см. рис. 4) рассмотрим *граф корреспонденций* (связей) между носителями и потребителями ресурсов (рис. 5). Этот граф представляет собой идеальную сеть, где каждая пара (i, j) узлов имеет собственный канал связи. В результате обмена между носителями и потребителями информационно-вычислительных ресурсов возникают *потоки корреспонденций* (количество информации в единицу времени) $Y(t) = [y_{ij}(t)|i, j, \dots, n]$. Реальная сеть имеет собственную конфигурацию, и связь между узлами i и j , т. е. (i, j) -корреспонденция, осуществляется по соответствующему маршруту, вообще говоря, неединственному. Кроме того, маршрут (i, j) -корреспонденции может пересекаться на каком-то участке сети с маршрутами других корреспонденций.

Очевидно, что существует некоторый, достаточно малый интервал времени Δt , внутри которого размеры потоков корреспонденций $y_{ij}(t)$ сохраняются. Это означает, что объем информации $g_{ij}(t)$ в (i, j) -корреспонденции (*объем (i, j) -корреспонденции*) в интервале времени $[t, t + \Delta t)$ определяется следующим равенством:

$$g_{ij}(t) = y_{ij}(t)\Delta t. \quad (2)$$

Матрица объемов корреспонденций $G(t)$ на интервалах длины Δt имеет случайные, быстро ме-

няющиеся компоненты $g_{ij}(t)$. Напомним, что на интервалах длины Δt объемы информационно-вычислительных ресурсов в носителях практически не меняются, а потребность в них, напротив, меняется достаточно быстро в шкале t , и ее объемы — случайные.

Таким образом при рассмотрении GRID в шкале календарного времени t в ней обнаруживаются, по крайней мере, два процесса с существенно различающимися временами релаксации.

Один из них — *процесс воспроизводства информационно-вычислительных ресурсов*. Здесь имеется в виду, что происходит пополнение, модификация программных средств, замена оборудования более совершенным, прокладка новых коммуникаций и т. п. Реализация этих мероприятий происходит достаточно медленно: в шкале календарного времени это месяцы или годы. Обозначим τ_r — характерное время (время релаксации) процессов воспроизводства информационно-вычислительных ресурсов. Важная особенность этих процессов состоит в том, что они в значительной степени стимулируются потребностью в ресурсах, а следовательно, зависят от распределения потоков $Y(t)$.

Другой процесс — *формирование потоков корреспонденций* — происходит достаточно быстро в шкале календарного времени t : его время релаксации τ_f имеет порядок часов или суток. Динамичность этого процесса объясняется достаточно быстрыми изменениями потребностей в ресурсах.

Итак, между временами релаксации соответствующих процессов имеет место следующее соотношение:

$$\tau_r \gg \tau_f. \quad (3)$$

В соответствии с приведенной феноменологией можно сформулировать следующие две задачи.

- **А.** Исследование квазистационарных режимов формирования информационных потоков корреспонденций, которые возникают в связи с малыми временами релаксации соответствующих процессов.
- **Б.** Исследование пространственно-временной эволюции сети, возникающей вследствие взаимодействия «медленных» процессов воспроизводства информационно-вычислительных ресурсов с «быстрыми» процессами формирования информационных потоков.

В заключение этого параграфа заметим, что проблемы GRID весьма обширны. Но пока большинство из них в значительной степени технические и технологические. Здесь мы предпринимаем попытку внести определенный вклад в зарождающееся направление исследования GRID как динамической стохастической сети с целью выявления ее общесистемных свойств.



МОДЕЛИРОВАНИЕ КВАЗИСТАЦИОНАРНЫХ СОСТОЯНИЙ (ЗАДАЧА А)

Рассмотрим граф корреспонденций (см. рис. 5), который характеризует связи между информационно-вычислительными ресурсами $X_1(t), \dots, X_n(t)$ и потребностями $Q_1(t), \dots, Q_n(t)$. Объемы корреспонденций (2) представляют собой количество единиц информации или агрегированных порций. В силу того, что потребности случайны, естественно предположить, что порции информации случайно и независимо друг от друга попадают в (ij) -корреспонденцию. Характеристикой случайного распределения порций информации по корреспонденциям служат априорные вероятности $a_{ij}, i, j = 1, \dots, n$ попадания порции информации в (ij) -корреспонденцию в единицу времени. Значения априорных вероятностей в общем случае зависят от времени t и от объемов информационно-вычислительных ресурсов, точнее, от их распределения $X(t) = \{X_1(t), \dots, X_n(t)\}$, т. е.

$$A(X(t), t) = [a_{ij}(X(t), t)|i, j = 1, \dots, n].$$

Априорная вероятность того, что порция информации попадет в (ij) -корреспонденцию за время Δt ,

$$b_{ij}(X(t), t) = a_{ij}(X(t), t)\Delta t. \quad (4)$$

В результате реализации случайного распределения порций информации по корреспонденциям в системе корреспонденций (см. рис. 5) могут возникать различные случайные макросостояния [18], которые характеризуются матрицами $G(t)$ со случайными элементами $[g_{ij}(t)|i, j = 1, \dots, n]$. Этот распределительный механизм, как нетрудно заметить, описывается статистикой Больцмана (см., например, книгу [23]) в предположении, что загрузка системы корреспонденций невелика (т. е. элементы матрицы $G(t)$ малы по сравнению с реальными возможностями сети).

В работе [18] показано, что в этом случае можно ввести обобщенную информационную энтропию Больцмана, характеризующую ансамбль случайных макросостояний $G(i)$. В общем случае она зависит от «медленного» времени t и интервала Δt :

$$H_B(G, t, \Delta t) = - \sum_{ij} g_{ij}(t) \ln \frac{g_{ij}(t)}{e b_{ij}(X(t), t)}. \quad (5)$$

Реальная сеть имеет конечную пропускную способность (допустимое количество информации в единицу времени — поток информации). Сле-

довательно, элементы идеальной сети — корреспонденции — имеют конечные емкости, т. е. допустимые потоки информации. Обозначим их $c_{ij}(t)$, $i, j = 1, \dots, n$, имея в виду, что они зависят от времени. Далее мы поясним, в каком смысле понимается эта зависимость.

Важным является вопрос, как емкости корреспонденций связаны с пропускными способностями элементов реальной сети. Напомним, что (ij) -корреспонденция реализуется различными маршрутами $R_{ij}^1, \dots, R_{ij}^s$. Каждый из них характеризуется пропускной способностью, т. е. максимальными потоками информации $E_{ij}^1, \dots, E_{ij}^s$, которые могут быть перемещены по маршруту в единицу времени без изменения скорости передачи.

В процессе работы пользователя в сети, т. е. с течением времени, происходит переключение с маршрута на маршрут (хороший английский термин «www-surfing») в зависимости от загрузки отдельных элементов сети. Поэтому емкость (ij) -корреспонденции в момент времени t равна пропускной способности того маршрута $R_{ij}^{r(t)}$, который в момент t реализует эту корреспонденцию, т. е.

$$c_{ij}(t) = E_{ij}^{r(t)}.$$

Однако такое определение емкости весьма громоздкое, так как требует оперативного решения задачи маршрутизации и мониторинга сети с точки зрения ее текущей загрузки.

Другой путь связан с построением верхних оценок величин $c_{ij}(t)$, уже не зависящих от времени:

$$c_{ij} = \max_{1 \leq m \leq s} E_{ij}^m. \quad (6)$$

Если тем или иным способом емкости определены, то допустимое количество информации, перемещаемое в (ij) -корреспонденции за время Δt ,

$$C_{ij}(t) = c_{ij}(t)\Delta t. \quad (7)$$

В этом случае объемы корреспонденций (2) должны удовлетворять следующим очевидным условиям:

$$0 \leq g_{ij}(t) \leq C_{ij}(t), \quad i, j = 1, \dots, n. \quad (8)$$

Случайное с априорными вероятностями $A(X(t), t)$ распределение порций информации по системе корреспонденций (см. рис. 5) при условиях (8) характеризуется статистикой Ферми–Дирака [23]. Ансамбль случайных макросостояний $G(t)$ системы корреспонденций описывается обобщен-

ной информационной энтропией Ферми–Дирака [18]:

$$H_F(G, t, \Delta t) = - \sum_{ij} g_{ij}(t) \ln \frac{g_{ij}(t)}{\tilde{b}_{ij}(X(t), t)} + (C_{ij}(t) - g_{ij}(t)) \ln(C_{ij}(t) - g_{ij}(t)), \quad (9)$$

где

$$\tilde{b}(X(t), t) = \frac{b_{ij}(X(t), t)}{1 - b_{ij}(X(t), t)}.$$

Итак, если нагрузка сети невелика (например, для Интернета – в ночные часы), а именно

$$g_{ij}(t) \ll C_{ij}(t), \quad i, j = 1, \dots, n,$$

то распределение порций информации по корреспонденциям реализуется в соответствии со статистикой Больцмана (5).

Если же нагрузка сети значительная, и некоторые ее участки работают на пределе своей пропускной способности (8), то ансамбль возможных макросостояний системы корреспонденций характеризуется статистикой Ферми–Дирака (9).

Возможные макросостояния $G(t)$ системы корреспонденций должны удовлетворять некоторым ограничениям. Мы будем рассматривать ограничения двух типов: стоимостные и балансовые.

Рассмотрим первые из них. Обычно известны цены π_{ij} передачи порции информации для (ij) -корреспонденции и цены передачи ω_i порции информации в единицу времени для i -го ресурса. Тогда цена порции ресурса, переданной за время Δt , $\tilde{\omega}_i = \omega_i \Delta t$, и стоимость $T_i(X_i)$ передачи всего объема информационно-вычислительного ресурса за время Δt определяется следующим выражением $T_i(X_i) = X_i(t) \tilde{\omega}_i$. Таким образом, стоимостные ограничения выглядят следующим образом:

$$\sum_j g_{ij}(t) \pi_{ij} \leq T_i(X_i(t)), \quad i = 1, \dots, n. \quad (10)$$

Ограничения балансового типа связаны с объемом потребностей $Q_i(t)$ за интервал Δt . Введем поток потребности $q_i(t)$. Тогда ограничения балансового типа для интервала времени длиной Δt примут вид:

$$\sum_j g_{ij}(t) \leq q_i(t) \Delta t = Q_i(t), \quad j = 1, \dots, n. \quad (11)$$

В случае малой загрузки сети ограничения (10) и (11) полностью описывают множество ее допустимых макросостояний. Если нагрузка велика, то ограничения по пропускной способности оказываются необходимыми в случае, когда емкость корреспонденций принимается в виде (5).

Для формирования соответствующих условий обратимся к графу сети (см. рис. 4), который имеет p узлов и r дуг. Перенумеруем все дуги от 1 до r . Ранее отмечалось, что корреспонденция реализуется в сети различными маршрутами. Маршруты, принадлежащие различным корреспонденциям, могут пересекаться на каких-то дугах сетевого графа.

Введем функцию принадлежности:

$$\lambda_{ij}^k = \begin{cases} 1, & \text{если маршрут } (ij)\text{-корреспонденции} \\ & \text{проходит по дуге } k; \\ 0, & \text{если никакой маршрут } (ij)\text{-корреспонденции} \\ & \text{не проходит по дуге } k. \end{cases} \quad (12)$$

Обозначим W^k – максимальный поток, который может пройти через дугу k . Тогда ограничения по пропускной способности будут выглядеть следующим образом:

$$\sum_{ij \in M_k} g_{ij}(t) \lambda_{ij}^k \leq W^k \Delta t, \quad k = 1, \dots, r, \quad (13)$$

где M_k – множество всех корреспонденций, маршруты которых проходят через дугу k .

Для моделирования квазистационарных состояний стохастической сети будем пользоваться принципом локальных равновесий и обобщенным принципом максимизации энтропии [18, 23]. Возможность применения первого из них основана на существенном различии времен релаксации (3) процессов воспроизводства информационно-вычислительных ресурсов и распределения информационных потоков в сети. Принцип локальных равновесий позволяет рассматривать распределение информационных потоков при «замороженных» ресурсах. Ответ на вопрос, какое из распределений будет реализовано, дается принципом максимизации энтропии.

Таким образом, модель квазистационарных состояний стохастической сети имеет вид:

$$H[G, t, \Delta t, X(t)] \Rightarrow \max_G, \quad G \in D[X(t), t, \Delta t], \quad (14)$$

где допустимое множество D определяется комбинацией ограничений (10)–(13). Нетрудно заметить, учитывая выражения (4), (5), (7) и (9), что задача (14) может быть сформулирована относительно потоков корреспонденций $Y(t)$. Для удобства дальнейшего исследования будем различать следующие типы моделей.

Модели квазистационарных состояний при постоянной емкости корреспонденций

$$H_F[Y, X(t), C] \Rightarrow \max_{Y \in D(X, t)},$$



где множество D описывается следующей системой неравенств:

$$\begin{aligned} \sum_j y_{ij}(t)\pi_{ij} &\leq \omega_i X_i(t), \quad i = 1, \dots, n; \\ \sum_i y_{ij}(t) &\leq q_j, \quad j = 1, \dots, n; \\ \sum_{ij \in M_k} y_{ij}(t)\lambda_{ij}^k &\leq W^k, \quad k = 1, \dots, r. \end{aligned}$$

Модели квазистационарных состояний при переменной емкости корреспонденций

$$H_F[Y, t, X(t), C(t)] \Rightarrow \max_{Y \in D(X, t)},$$

где множество D описывается следующей системой неравенств:

$$\begin{aligned} \sum_j y_{ij}(t)\pi_{ij} &\leq \omega_i X_i(t), \quad i = 1, \dots, n; \\ \sum_i y_{ij}(t) &\leq q_j, \quad j = 1, \dots, n. \end{aligned} \quad (15)$$

Модели квазистационарных состояний для малой загрузки сети

$$H_B[Y, X(t)] \Rightarrow \max_{G \in D(X, t)},$$

где множество D описывается системой неравенств (15).

В этих выражениях

$$\begin{aligned} H_F[Y, t, X(t)] &= -\sum_{ij} y_{ij}(t) \ln \frac{y_{ij}(t)}{a_{ij}(X(t), t)} + \\ &+ (c_{ij}(t) - y_{ij}(t)) \ln(c_{ij}(t) - y_{ij}(t)), \end{aligned} \quad (16)$$

$$H_B[Y, t, X(t)] = -\sum_{ij} y_{ij}(t) \ln \frac{y_{ij}(t)}{e a_{ij}(X(t), t)}. \quad (17)$$

Все три типа моделей квазистационарных состояний позволяют восстановить энтропийно оптимальную матрицу потоков корреспонденций $Y^*(t)$. Процедуры «наложения» ее на реальную сеть (assignment problem) в значительной степени зависят от критериев оптимальности маршрутов, реализующих корреспонденции (например, маршруты, кратчайшие по времени, с максимальной безопасностью, минимальные по стоимости и т. п.). Кроме того, переключение с одного маршрута на другой зависит от случайной загрузки сети в текущий момент времени. Случайный характер генерации реальных маршрутов должен адекватно отражаться в процедурах «наложения». Возможно, здесь окажется полезной вероятностное описание распределения потока корреспонденций по маршрутам, активно используемое при моделировании транспортных сетей [24]. Правда, в транспортной сети маршруты выбирает человек, мотивация которого неизвестна. Исследование индивидуальных мотиваций заменяется вероятностным описанием коллективных мотиваций. В GRID выбор маршрутов алгоритмизирован, но включение того или иного алгоритмического правила случайно.

ДИНАМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ СТОХАСТИЧЕСКОЙ СЕТИ (ЗАДАЧА Б)

Обратимся к примеру магистрального слоя GRID, пример которого изображен на рис. 1. По-прежнему, объем информационно-вычислительного ресурса в регионе i обозначаем $X_i(t)$, а поток корреспонденций между регионами i и j — $y_{ij}(t)$, $i, j = 1, \dots, n$. Естественно, что

$$\begin{aligned} 0 &\leq X_i(t) \leq M_i(t), \\ 0 &\leq y_{ij}(t) \leq c_{ij} \quad \text{или} \\ 0 &\leq y_{ij}(t) \leq c_{ij}, \quad i, j = 1, \dots, n, \end{aligned} \quad (18)$$

где $M_i(t)$ — максимальный объем информационно-вычислительного ресурса, размещенного в регионе i .

Изменение объема информационно-вычислительного ресурса в регионе i происходит «медленно» под влиянием трех групп факторов. Первая из них связана с естественной амортизацией и старением. Эти процессы в основном зависят от текущего объема ресурса $X_i(t)$. Вторая группа факторов связана с внешними воздействиями $U_i(t)$ на ресурс с целью его обновления. Эти воздействия генерируются как вне, так и внутри данного региона. И, наконец, последняя группа факторов характеризует влияние информационных потоков в сети $Y(t)$ на ресурсы. Однако характер влияния отличен от влияния первых двух групп факторов. Его можно квалифицировать как косвенное влияние: изменения информационных потоков в сети являются индикаторами необходимости изменения ресурса. С другой стороны, распределение информационных потоков $Y(t)$ также меняется во времени под влиянием информационно-вычислительных ресурсов $X(t)$ и потребности $Q(t)$ в них, т. е. существует определенная обратная связь.

Следуя этой феноменологии, эволюцию пространственного распределения информационно-вычислительных ресурсов в общем случае можно описать системой дифференциальных уравнений следующего вида:

$$\frac{dX}{dt} = \tilde{F}[X(t), U(t), Y(t)] \quad (19)$$

$$\frac{dY}{dt} = \Phi[Y(t), X(t), Q(t)], \quad (20)$$

где $X(t) = \{X_1(t), \dots, X_n(t)\}$, \tilde{F} — вектор-функция из R^n , $Y(t)$ — $(n \times n)$ -матрица, Φ — $(n \times n)$ -матричная функция и $Q(t) = \{Q_1(t), \dots, Q_n(t)\}$ — объем потребности.

Рассмотрим, как феноменологические особенности динамической стохастической сети отображаются в уравнениях (19) и (20).

Вначале обратимся к уравнению (19), описывающему эволюцию информационно-вычислительных ресурсов. Пусть переменные U и Y фиксированы.

Согласно первому из соотношений (18) $X_i(t) \geq 0$.

Поэтому вектор-функция \tilde{F} в уравнении (19) должна обладать следующим свойством:

$$\tilde{F}_i[X_i(t), \dots, X_{i-1}(t), 0, X_{i+1}(t), \dots, \dots, X_n(t)/U(t), Y(t)] = 0, \quad i = 1, \dots, n.$$

Отсюда следует, что $\tilde{F}_i(X|U, Y) = \varphi(X_i)F_i(X, U, Y)$, где $F_i(X, U, Y) < \infty$, $\varphi(0) = 0$.

В простейшем случае $\varphi(X_i) = X_i$. Тогда дифференциальное уравнение (19) примет вид:

$$\frac{dX}{dt} = X(t) \otimes F[X(t), U(t), Y(X, t)], \quad (21)$$

где символ \otimes означает покомпонатное умножение.

Вернемся к первой группе неравенств (18). Из них также следует, что компоненты $X_i(t)$ ограничены сверху объемами максимального ресурса $M_i(t)$. Это обстоятельство также накладывает определенные ограничения на вид функций F в уравнении (21). На качественном уровне эти ограничения можно пояснить следующим образом. Пусть начальные состояния $X(0) \in \text{int}[0, M(t)]$ и переменные U и Y фиксированы. Если при этом хотя бы одна компонента вектора $X(t)$, возрастая (т. е. $\dot{X}(t) = F(X|U, Y) > 0$), достигнет границы $M_i(t)$, то знак соответствующей компоненты функции F должен стать отрицательным.

Рассмотрим множества:

$$\Omega_i(t) = \{X: 0 \leq X_j(t) < M_j(t); X_i(t) \geq M_i(t); j = 1, \dots, n; j \neq i\}, \quad i = 1, \dots, n;$$

и вектора $U \in \Gamma$ и $Y \in T$, где Γ и T — компактные подмножества в R_+^n . Тогда семейство подходящих функций F может быть описано следующим образом: для любых $U \in \Gamma$ и $Y \in T$

$$F_i(X, U, Y) \leq 0 \text{ для } X \in \Omega_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (22)$$

Это семейство достаточно обширное, и его параметризация, необходимая для прикладных исследований, неединственная и может быть весьма разнообразной. Поэтому, имея в виду прикладную полезность таких моделей, желательно иметь простые формы параметрического представления семейства (22). Одна из них — линейная и сепарабельная по X , с параметрами, зависящими от U и Y :

$$F_i(X, U, Y) = -b_i(U, Y) + X_i s_i(U, Y), \quad i = 1, \dots, n. \quad (23)$$

В этом представлении $b > 0$ и $s > 0$ — параметры. Заметим, что если b и s — константы, то функ-

ция F_i есть компонента функции Лотки–Вольтерра [25].

В рамках представления функции F_i (23) рассмотрим следующие феноменологические особенности динамики информационно-вычислительных ресурсов.

1. *Старение с постоянной скоростью и линейным влиянием потоков,*

$$F_i(X, Y) = -b_i + X_i P^i Y^i,$$

где $b_i = \text{const}$.

2. *Старение и обновление с постоянными скоростями и линейным влиянием потоков,*

$$F_i(X, U, Y) = -b_i + \tilde{b}_i U + X_i P^i Y^i,$$

где $b_i = \text{const}$, $\tilde{b}_i = \text{const}$.

3. *Обновление с постоянной скоростью и линейным влиянием потоков,*

$$F_i(X, U, Y) = \tilde{b}_i U + X_i P^i Y^i,$$

где $\tilde{b}_i = \text{const}$.

Здесь P — $(n \times n)$ -матрица, P^i и Y^i — i -я строка и i -й столбец соответствующих матриц.

Теперь рассмотрим уравнение (20). В силу соотношения (3) релаксация распределения информационных потоков к квазистационарному состоянию происходит существенно быстрее, чем изменение пространственного распределения информационно-вычислительных ресурсов. Поэтому можно применить принцип локальных равновесий и вместо дифференциального уравнения (20) рассматривать квазистационарное состояние распределения $Y^*(t)$ информационных потоков, которое есть состояние с максимальной на допустимом множестве энтропией.

Таким образом, динамическую модель GRID можно представить в следующем виде:

$$\frac{dX}{dt} = X \otimes (-b(U, Y^*(X, t)) + X \otimes s(U, Y^*(X, t))), \\ Y^*(X, t) = \text{argmax}(H(Y, X, t)/Y \in D(X)).$$

Эта модель принадлежит к классу позитивных динамических систем с энтропийным оператором, некоторые свойства которых изучены в работе [17].

Введем классификацию моделей GRID, используя две группы характеристик: локально-стационарных состояний и эволюционной динамики. Соответствующие модели будем обозначать двумя индексами. Первый из них обозначает особенности сетевых корреспонденций: 1 — постоянная емкость; 2 — переменная емкость; 3 — малая загрузка сети. Второй индекс обозначает особенности процессов, влияющих на динамику ресурса: 1 — ста-



рение с постоянной скоростью; 2 – старение и обновление с постоянными скоростями; 3 – обновление с постоянной скоростью. Во всех трех типах процессов воспроизведения ресурса предполагается линейное влияние информационных потоков в сети.

Таким образом, возникает девять моделей GRID следующего вида.

Модель 11. Обновление информационно-вычислительного ресурса в сети не происходит и емкость корреспонденций не меняется во времени;

$$\frac{dX_i}{dt} = X_i(-b_i + X_i P^i Y^{*i}(X)), \quad i = 1, \dots, n;$$

$$Y^*(X) = \operatorname{argmax}(H_F(Y, X, C)) / \{Y: \sum_j y_{ij} \pi_{ij} \leq \omega_i X_i;$$

$$\sum_i y_{ij} \leq q_j; \quad \sum_{i,j \in M_k} y_{ij} \lambda_{ij}^k \leq W^k;$$

$$i, j = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, r\}.$$

Модель 12. Полное воспроизводство информационно-вычислительного ресурса в сети и емкость корреспонденций не меняется во времени;

$$\frac{dX_i}{dt} = X_i(-b_i + \tilde{b}_i U + X_i P^i Y^{*i}(X)), \quad i = 1, \dots, n;$$

$$Y^*(X) = \operatorname{argmax}(H_F(Y, X, C)) / \{Y: \sum_j y_{ij} \pi_{ij} \leq \omega_i X_i;$$

$$\sum_i y_{ij} \leq q_j; \quad \sum_{i,j \in M_k} y_{ij} \lambda_{ij}^k \leq W^k;$$

$$i, j = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, r\}.$$

Модель 13. Процесс старения информационно-вычислительного ресурса значительно медленнее, чем его обновление, и емкость корреспонденций не меняется во времени;

$$\frac{dX_i}{dt} = X_i(\tilde{b}_i U + X_i P^i Y^{*i}(X)), \quad i = 1, \dots, n;$$

$$Y^*(X) = \operatorname{argmax}(H_F(Y, X, C)) / \{Y: \sum_j y_{ij} \pi_{ij} \leq \omega_i X_i;$$

$$\sum_i y_{ij} \leq q_j; \quad \sum_{i,j \in M_k} y_{ij} \lambda_{ij}^k \leq W^k;$$

$$i, j = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, r\}.$$

Модель 21. Обновление информационно-вычислительного ресурса отсутствует и емкость корреспонденций меняется во времени;

$$\frac{dX_i}{dt} = X_i(-b_i + X_i P^i Y^{*i}(X, t)), \quad i = 1, \dots, n;$$

$$Y^*(X, t) =$$

$$= \operatorname{argmax}(H_F(Y, t, X, C(t))) / \{Y: \sum_j y_{ij} \pi_{ij} \leq \omega_i X_i;$$

$$\sum_i y_{ij} \leq q_j; \quad i, j = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, r\}.$$

Модель 22. Полное воспроизводство информационно-вычислительного ресурса в сети и емкость корреспонденций меняется во времени;

$$\frac{dX_i}{dt} = X_i(-b_i + \tilde{b}_i U + X_i P^i Y^{*i}(X, t)), \quad i = 1, \dots, n;$$

$$Y^*(X, t) =$$

$$= \operatorname{argmax}(H_F(Y, t, X, C(t))) / \{Y: \sum_j y_{ij} \pi_{ij} \leq \omega_i X_i;$$

$$\sum_i y_{ij} \leq q_j; \quad i, j = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, r\}.$$

Модель 23. Обновление информационно-вычислительного ресурса отсутствует и емкость корреспонденций меняется во времени;

$$\frac{dX_i}{dt} = X_i(-b_i + X_i P^i Y^{*i}(X, t)), \quad i = 1, \dots, n;$$

$$Y^*(X, t) =$$

$$= \operatorname{argmax}(H_F(Y, t, X, C(t))) / \{Y: \sum_j y_{ij} \pi_{ij} \leq \omega_i X_i;$$

$$\sum_i y_{ij} \leq q_j; \quad i, j = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, r\}.$$

Модель 31. Обновление информационно-вычислительного ресурса отсутствует и малая загрузка сети;

$$\frac{dX_i}{dt} = X_i(-b_i + X_i P^i Y^{*i}(X, t)), \quad i = 1, \dots, n;$$

$$Y^*(X) = \operatorname{argmax}(H_B(Y, X)) / \{Y: \sum_j y_{ij} \pi_{ij} \leq \omega_i X_i;$$

$$\sum_i y_{ij} \leq q_j; \quad i, j = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, r\}.$$

Модель 32. Полное воспроизводство информационно-вычислительного ресурса в сети и емкость корреспонденции меняется во времени;

$$\frac{dX_i}{dt} = X_i(-b_i + \tilde{b}_i U + X_i P^i Y^{*i}(X, t)), \quad i = 1, \dots, n;$$

$$Y^*(X) = \operatorname{argmax}(H_B(Y, X)) / \{Y: \sum_j y_{ij} \pi_{ij} \leq \omega_i X_i;$$

$$\sum_i y_{ij} \leq q_j; \quad i, j = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, r\}.$$

Модель 33. Обновление информационно-вычислительного ресурса отсутствует и емкость корреспонденций меняется во времени;

$$\frac{dX_i}{dt} = X_i(-b_i + X_i P^i Y^{*i}(X, t)), \quad i = 1, \dots, n;$$

$$Y^*(X) = \operatorname{argmax}(H_B(Y, X)) / \{Y: \sum_j y_{ij} \pi_{ij} \leq c_i X_i;$$

$$\sum_i y_{ij} \leq q_j; \quad i, j = 1, \dots, n; \quad k = 1, \dots, r\}.$$

В этих выражениях энтропийные функции определяются выражениями (16) и (17). Матрица емкостей корреспонденций имеет вид:

$$C = [\max_{1 \leq m \leq s} E_{ij}^m; i, j = 1, \dots, n]$$

для случая постоянных емкостей и

$$C(t) = E_{ij}^{r(t)}; \quad i, j = 1, \dots, n$$

для случая переменных емкостей.

Здесь E_{ij}^m – пропускная способность маршрута m , реализующего (ij) -корреспонденцию; $r(t)$ – номер маршрута, реализующего (ij) -корреспонденцию в данный момент времени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сетевые технологии достигли такого уровня развития, что вполне реальным в недалеком будущем становится восприятие сети как распределенного компьютера, в котором сосредоточены гигантские информационно-вычислительные ресурсы. В процессе реализации этой амбициозной цели приобретает особую актуальность «системный взгляд» на всемирную паутину. Его инструментом является моделирование сети. Естественно, что подходов к моделированию может быть много. Мы здесь основывались на том, что природа функционирования сети – случайная. Макросистемный подход, развиваемый в данной статье, кажется адекватным представлению о реальных процессах, происходящих в существующей всемирной сети и в ее модификации – GRID.

Математические модели равновесных и неравновесных состояний сети в той или иной степени используют принцип максимизации энтропии. Они позволяют имитировать распределение информационных потоков (стационарное и нестационарное), выявляя и прогнозируя «узкие места» в сети. Эта информация весьма ценна для формирования эффективных (например, по времени ожидания) маршрутов достижения необходимых пользователю информационно-вычислительных ресурсов, а также для стратегического планирования развития GRID, связанного с пространственным размещением новых информационно-вычислительных ресурсов, аппаратно-технических средств и трассировкой линий связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Wolpert D. H., Turner K., Frank J.* Using Collective Intelligence to Route Internet Traffic / *Advances in Information Processing Systems*, ed. M. Kearns, S. Solla, D. Cohn, MIT Press, Massachusetts, 1999.
2. *Boyan J., Littman B.* Packet routing in dynamically changing networks: A reinforcement learning approach / *Advances in Neural Information Processing Systems - 6*, Morgan Kaufmann, 1994. – P. 671–678.
3. *Subramanian D., Druschel P., Chen J.* Ants and reinforcement learning: A case study in routing in dynamic networks / *Proceedings of the Fifteenth International Conference on Artificial Intelligence*, 1997. – P. 832–838.
4. *Fuks H., Lawniczak A. T.* Performance of data network with random links // *Mathematics and Computers in Simulation*. – 1999. – Vol. 51. – P. 103–119.
5. *Fuks H.; Lawniczak A. T., Volkov S.* Packet delay in models of data networks // *ACM Transactions on Modeling and Computer Simulation*. – 2001. – Vol. 7.
6. *Taqqu M. S., Willinger W., Erramilli A.* A bibliographical guide to self similar traffic and performance modeling for modern high-speed network / *Stochastic Networks: Theory and Applications*, ed. F. R. Kelly, S. Zachary, I. Ziedins, Clarendon Press (Oxford University Press), Oxford, 1996. – P. 339–366.
7. *Tretyakov A. Yu., Takayasu H., Takayasu M.* Phase transition in a computer network model // *Physica A*. 1998. – Vol. 253. – P. 315–322.
8. *Ohira T., Sawatari R.* Phase transition in computer network traffic model // *Physics Review E*. 1998. – Vol. 58. – N. 1. – P. 193–195.
9. *Jian Yuan, Mills K.* Exploring Collective Dynamics in Communication Networks. National Institute of Standards and Technology, 2001. – Vol. MD 20899-0001, Gaithersburg.
10. *Cowie J., Liu H., Nicol D., Ogielski A.* Towards Realistic Million-Node Internet Simulation / *Proceedings of the 1999 International Conference on Parallel and Distributed Processing Techniques and Applications*. Lay Vegas, Nevada, 1999.
11. *Csabai I.* 1/f Noise in Computer Network Traffic // *Journal of Physics, A*, 1994. – Vol. 27. – N. 12. – P. 417–421.
12. *Yuan J., Ren Y., Liu F., Shan X.* Phase transition and collective correlation behavior in the complex computer network // *Acta Physica Sinica*. 2001. – Vol. 50. – N. 7. – P. 1221–1225.
13. *Takayasu M., Takayasu H.* Critical behaviors and 1/f noise in information traffic // *Physica A*. 1996. – Vol. 233. – P. 824–834.
14. *Fukuda K., Takayasu M., Takayasu H.* Spatial and temporal behavior of congestion in Internet traffic // *Fractals*. 1999. – Vol. 7. – P. 23–31.
15. *Huberman B. A., Lukose R. M.* Social dilemmas and Internet congestion // *Science*. 1997. – Vol. 277. – P. 535–537.
16. *HuÛemman B. A., Pirolli P. L.T., Pitkow J. E., Lukose R. M.* Strong Regularities in World Wide Web Surfing // *Science*. 1999. – Vol. 280. – P. 95–97.
17. *Вильсон А. Дж.* Энтропийные методы моделирования сложных систем. – М.: Наука, 1978.
18. *Попков Ю. С.* Теория макросистем и ее приложения. – М.: УРСС, 1999.
19. *Беленький А. С.* Исследование операций в транспортных системах. – М.: Мир, 1992.
20. *Лившиц В. И.* Оптимизация планирования и управления транспортными системами. – М.: Транспорт, 1987.
21. *Гирфанов В., Журавлев Г., Имельбаев Ш., Софронова С.* Статистический метод анализа эффективности нефтепроводных систем // *Надежность магистральных нефтепроводов*. – Уфа, 1980.
22. *Дубов Ю. А., Журавлев Г., Имельбаев Ш.* Прогнозирование малых отклонений в сетях / *Динамика неоднородных систем*. – М.: Труды ВНИИСИ, 1982.
23. *Ландау Л. Д., Лифшиц Е. Н.* Статистическая физика. – М.: Наука, 1964.
24. *Friesz T. L., Luque F.J., To bin R. L., Wie B. W.* Dynamic network traffic assignment considered as a continuous time optimal control problem // *Operation Research*. 1989. – Vol. 37. – P. 893–905.
25. *Вольтерра В.* Математическая теория борьбы за существование. – М.: Наука, 1973.

☎ (095) 135-42-22

E-mail: popkov@isa.ru





МЕТОДЫ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ЗАДАЧАХ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ¹

Н.В. Крапухина, К.М. Пастухова, П.А. Свиридов

Московский государственный институт стали и сплавов, г. Москва

Рассмотрены особенности применения генетических алгоритмов для оптимизации сложных непрерывных статических систем. Предпринята попытка улучшения сходимости итерационных методов расчета таких систем.

В настоящее время все больше проявляется тенденция комплексного управления предприятием с помощью информационно-управляющих систем. Такие системы должны не только обладать функциями сбора, обработки, хранения, передачи и представления информации, но и выполнять многовариантные расчеты, необходимые для принятия обоснованных управленческих решений. Одним из методов оценки сценариев, анализируемых при принятии решений, является имитационное моделирование, поскольку постановка натурального эксперимента практически всегда неприемлема в силу ограниченности материальных или временных ресурсов. Немалую роль здесь играет моделирование технологического процесса производства. Принятие оптимального в каком-либо смысле решения непосредственно связано с оптимизацией технологического процесса.

Значительную часть промышленности составляют отрасли с непрерывным циклом производства — обогащение руд цветных и редких металлов, металлургия, нефтехимия, химическая промышленность, фармацевтика и др.

При моделировании и оптимизации технологических процессов в этих отраслях возникают следующие трудности:

- необходимость описания большого количества агрегатов и связей между ними;
- существенная нелинейность описания агрегатов;
- наличие рециркуляционных потоков;
- наличие агрегатов, для которых не известно аналитическое описание и которые описываются как «черный ящик»;
- сложность решения системы нелинейных уравнений большой размерности, определяемой числом агрегатов сложного комплекса и числом материальных потоков, связывающих эти агрегаты, а также размерностью векторов, характеризующих эти потоки;
- необходимость определения глобального экстремума выходов системы относительно входных воздействий;
- неизвестный вид и сложность вычисления целевой функции;
- плохая сходимость классических методов оптимизации.

Изучая проблему расчета технологических схем, авторы пришли к выводу, что одним из лучших путей ее решения, описанных в литературе [1], заключается в представлении технологической схемы в виде потокового ориентированного графа и применении методов структурного анализа. Модификация алгоритмов структурного анализа графа, выполненная авторами, позволила снизить вычислительную сложность расчета путём уменьшения числа итерируемых переменных. Данный подход позволяет производить расчет и оптимиза-

¹ Статья рекомендована к печати Программным комитетом Второй международной конференции по проблемам управления (Москва, 2003 г.).

цию сложной схемы, в которой часть моделей узлов не имеет аналитического описания. В последние годы в связи со значительным ростом вычислительных мощностей современных ЭВМ появилась возможность эффективного решения этой проблемы методами искусственного интеллекта, а именно, путем привлечения аппарата нейронных сетей. Перечисленные трудности оптимизации традиционно преодолеваются с помощью методов случайного поиска, однако сейчас появилась возможность применения генетических алгоритмов, которые часто оказываются более эффективными.

Рассмотрим более подробно применение методов искусственного интеллекта для моделирования и оптимизации сложных непрерывных статистических систем.

Для расчета технологической схемы производственного процесса, представленной в виде ориентированного графа, имеет значение лишь сам факт преобразования значений входных и управляющих переменных в значения переменных выходного потока, но не способ, которым это преобразование осуществляется. Часто исследователь не располагает моделью агрегата, заданной в аналитическом виде. В то же время, он может располагать достаточно большим множеством экспериментальных данных, полученных, например, в результате замеров значений соответствующих параметров и потоков на реальном физическом объекте. Сами по себе эти данные, при условии их правильного подбора, могут достаточно хорошо отображать поведение объекта в различных условиях. Однако в процессе моделирования требуется как можно более точное вычисление функции модели узла в тех точках, которые не входят во множество экспериментальных данных, т. е. аппроксимация функций многих переменных.

В разработанной авторами системе моделирования сложных технологических процессов предусматривается возможность расчета производственных схем, включающих в себя узлы с описанием типа «черного ящика». Для этого предлагается воспользоваться аппаратом нейронных сетей.

Традиционно для аппроксимации функций многих переменных применяют нейронные сети прямого распространения, что предполагает подбор структуры сети (количество скрытых слоев, число нейронов в каждом слое, функции активации отдельных нейронов) и обучение построенной сети путем подбора весов синапсов.

Учитывая, что конечный пользователь информационной системы, скорее всего, не является специалистом в области теории нейронных сетей, предлагается отдавать предпочтение тем нейросетевым алгоритмам, которые характеризуются максимальной степенью автоматизации процесса создания и обучения нейронной сети. Одним из

лучших среди них можно считать алгоритм Sibling/Descendant Cascade Correlation (SDCC) [2]. В его основе лежит алгоритм каскадной корреляции Фалмана [3]. Алгоритм предлагает конструктивный подход к созданию и обучению нейронной сети путем последовательного усложнения ее структуры. При этом могут применяться нейроны с различными начальными значениями весов синапсов и даже с различными функциями активации.

Отметим, что хотя алгоритм SDCC в значительной степени автоматизирует процесс обучения, в его исходной версии используется параметр λ , влияющий на интенсивность роста числа слоев нейросети. Авторами разработано эмпирическое правило автоматического подбора этого параметра, в основе которого лежит отслеживание изменения ошибки обучения при добавлении в сеть нейронов-близнецов. Коэффициент изменяется таким образом, чтобы добавление в сеть нейронов-близнецов было более вероятно до тех пор, пока расширение существующего скрытого слоя приводит к уменьшению ошибки обучения. Если введение нового нейрона в существующий скрытый слой дает меньший эффект (в смысле уменьшения ошибки) по сравнению с предыдущим шагом, то считается, что существующий слой начал исчерпывать свой «потенциал», и вероятность добавления нового слоя увеличивается.

Если текущий шаг обучения является самым первым или на очередном шаге обучения был выбран для добавления в сеть один из нейронов-потомков, то значение λ для следующего шага становится равным нулю, т.е. сразу после углубления сети всегда предпринимается попытка обучения за счет расширения уже существующего скрытого слоя.

Если же на текущем шаге был выбран один из нейронов-близнецов, то после соединения выбранного нейрона с выходным слоем синапсами и обучением этих синапсов возможны следующие варианты.

- Значение функции ошибки увеличилось. В этом случае выбранный нейрон удаляется из сети, а на следующем шаге выбор осуществляется только из нейронов-потомков. Это значит, что через один шаг значение λ станет равным нулю и процесс повторяется.
- Значение функции ошибки уменьшилось. В этом случае значение λ для следующего шага обучения вычисляется по формуле:

$$\lambda(t+1) = \max\left\{0, \min\left\{1, \lambda(t) + \left(1 - \frac{\varepsilon(t)}{\varepsilon(t-1)}\right)\right\}\right\},$$

где $\lambda(t)$ — значение λ на текущем шаге обучения; $\varepsilon(t)$ — значение относительного изменения ошибки на текущем шаге обучения; $\varepsilon(t-1)$ — значение относительного изменения ошибки на предыдущем шаге обучения.



Относительное изменение ошибки на очередном шаге вычисляется по формуле:

$$\varepsilon(t) = \frac{E(t) - E(t-1)}{E(t) + E(t-1)},$$

где $E(t)$ – значение функции ошибки на том же шаге обучения, для которого вычисляется значение относительного изменения ошибки; $E(t-1)$ – значение функции ошибки на предыдущем шаге обучения.

Для эффективного управления производством необходимо определение оптимального режима функционирования системы. При оптимизации технологической схемы производственного процесса возникает необходимость нахождения глобального оптимума многомодальной функции неизвестного вида. Это налагает определенные ограничения на метод оптимизации, делая возможным только применение методов прямого поиска.

На данный момент для решения этой задачи большой популярностью пользуются методы оптимизации, основанные на генетических алгоритмах. Эти алгоритмы находят глобальный оптимум с большей вероятностью, чем алгоритмы случайного поиска, предназначенные для этой же цели.

В качестве хромосомы рассматривается точка пространства поиска. Генам хромосомы соответствуют значения оптимизируемых параметров. В качестве функции приспособленности рассматривается функция вида $\mu(F(x))$, где $F(x)$ – целевая функция.

К преимуществам генетических алгоритмов можно отнести то, что они не требуют задания начальной точки. Начальная популяция обычно генерируется случайным образом. Однако существуют и другие методы. Один из них описан в работе [4] и подразумевает генерацию начальной популяции по принципу побитового разнообразия, которое вычисляется по формуле

$$D_{bit} = \frac{1}{l} \sum_{i=1}^l \left(1 - 4 \left(0,5 - \frac{c_i}{v} \right) \right),$$

где c_i – число нулей в i -ой позиции, суммированное по всем особям популяции; l – длина хромосомы; v – численность популяции. Популяция генерируется таким образом, чтобы значение D_{bit} было максимальным.

Такой способ генерации решает и еще одну проблему, возникающую при поиске глобального оптимума – попадание в точки локальных экстремумов. Благодаря такой генерации начальной популяции происходит максимальный охват области поиска. Применение специальных методов выбора «родителей» в сочетании с некоторыми эвристиче-

скими предположениями позволяет не сужать эту область поиска в начале работы алгоритма и обеспечить его сходимость в конце работы. Это достигается двумя схемами выбора «родителей»: схема «аутбридинга» и схема «инбридинга». «Аутбридинг» – скрещивание родителей с дальним родством для поддержания разнообразия популяции. «Инбридинг» – скрещивание близкородственных особей. Его применение может приводить к преждевременной сходимости к локальному оптимуму. Особи являются «близкими родственниками», если хэммингово расстояние между их генотипами не превышает заданного положительного числа d .

Еще одной проблемой, которую решают генетические алгоритмы, является проблема нарушения простых ограничений в процессе поиска. Это важно, поскольку при их нарушении возможна неопределенность значения целевой функции из-за нарушения областей определения аргументов. Эти ограничения учитываются автоматически при генерации хромосомы. Остальные же ограничения учитываются при помощи введения «штрафных» функций.

Помимо применения методов искусственного интеллекта к моделированию и оптимизации сложных непрерывных статических систем авторами была предпринята попытка улучшения сходимости итерационных методов расчета таких систем.

Итерационные методы расчета схемы, в силу существенной нелинейности модели и большой размерности задачи, как правило, имеют плохую сходимость. Одним из распространенных способов улучшения их сходимости служит уменьшение числа итерируемых переменных. Представление схемы в виде графа позволяет снизить размерность путем разрыва обратных связей в системе и построения итерационных процедур в точках разрыва. Выбором оптимального множества точек разрыва можно существенно улучшить сходимость итерационной процедуры. Наиболее распространенным критерием оптимальности является число итерируемых переменных. Для разрыва графа с применением этого критерия в работе [1] предложены эффективные алгоритмы структурного анализа.

Однако данный критерий далеко не всегда наилучший, поскольку сходимость итерационного процесса сильно зависит также от начальных приближений. Эксперт-исследователь может располагать неформальной информацией о возможных значениях начальных приближений в определенных точках разрыва. Для учета таких знаний авторы предлагают некоторую модификацию упомянутого критерия, сводящуюся к вводу дополнительного коэффициента α , характеризующего степень желательности разрыва определенных дуг графа. При

этом формальная размерность дуг графа пересчитывается по формуле:

$$R_{\text{формальная}} = \frac{1-\alpha}{\alpha} R_{\text{реальная}}$$

Случай $\alpha = 0$ означает абсолютную недопустимость разрыва дуги, а $\alpha = 1$ – предпочтительность ее разрыва. Заметим, что данный критерий сохраняет свойство аддитивности, важное для применяемых алгоритмов структурного анализа.

Другая альтернатива определения вектора начальных условий, предложенная авторами, заключается в пересчете их значений, исходя из информации, известной эксперту для других потоков в системе. Исследователь отражает степень своих знаний с помощью специального коэффициента $\beta \in [0; 1]$. Значение $\beta = 0$ соответствует полному отсутствию информации о начальных приближениях для переменных потока; значение $\beta = 1$ означает абсолютную уверенность исследователя в начальных приближениях. Для учета этой информации авторы предлагают использовать алгоритм проектирования начальных приближений. Этот алгоритм осуществляет анализ графа схемы с целью определения множества дуг, оптимальных с точки зрения введенных исследователем коэффициентов β и обеспечивающих достаточно быструю сходимость в точках разрыва. Далее следует специальным образом организованный процесс расчета схемы, осуществляющий предварительную итера-

цию с целью расчета начальных приближений на разорванных потоках.

Методы оптимизации на основе генетических алгоритмов и аппроксимация функций были применены авторами для оптимизации схемы обогащения медно-никелевого файнштейна комбината «Североникель».

Работа выполнена на кафедре инженерной кибернетики Московского государственного института стали и сплавов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Островский Г.М., Волин Ю. М.* Моделирование сложных химико-технологических схем. – М.: Химия, 1975.
2. *Baluja S., Fahlman S. E.* Reducing Network Depth in the Cascade-Correlation Learning Architecture / School of Computer Science. Carnegie Mellon University. – Pittsburgh, 1991. – School of Computer Science. Carnegie Mellon University, October 17, 1994. – CMU-CS-94-209.
3. *Fahlman S.E., Lebiere C.* The Cascade-Correlation Learning Architecture / School of Computer Science. Carnegie Mellon University. – Pittsburgh, August 29, 1991. – CMU-CS-90-100.
4. *Исаев С. А.* Разработка и исследование генетических алгоритмов для принятия решений на основе многокритериальных нелинейных моделей: Дисс. канд. техн. наук. – Н. Новгород, 2000. – 198 с.

☎ (095) 236-25-35

E-mails: krapuhina@mis.ru, svirc@newmail.ru, kseniya_p@mail.ru □

Новая книга

Прангишвили И. В. Энтропийные и другие системные закономерности: вопросы управления сложными системами – М.: Наука, 2003. – 428 с.

Предназначена для специалистов по проблемам управления, системному анализу и информатике, аспирантов и студентов.

В монографии рассмотрены энтропийные модели сложных систем и энтропийные расчеты при управлении производственными и бизнес-процессами. Изложены основные объективные общесистемные закономерности функционирования технических и социальных систем, в том числе энтропийного равновесия, и определены методы управления энтропийными колебаниями, энтропийным равновесием и избыточной энтропией. Исследуются системные закономерности зависимости потенциала систем от их структуры, обсуждается резонансное управление. Анализируются сложные искусственные и природные системы и вопросы управления ими. В свете системного подхода представлены пути выхода России из структурного и системного кризисов, свойства современного общества и проблемы его развития.



ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛЕНИЯ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ¹

Ф.И. Бернацкий, Г.Б. Диго, Н.Б. Диго

Институт автоматики и процессов управления, г. Владивосток

Обсуждены вопросы управления сложными техническими системами в условиях неопределенности на основе многометодного и многовариантного анализа. Рассмотрена возможность применения многопроцессорных компьютеров для распараллеливания вычислений.

ВВЕДЕНИЕ

Современный этап развития теории управления характеризуется не только разработкой оптимальных систем, но и оптимизацией применяемых алгоритмов. Попадающим в сферу фундаментальных исследований и практических приложений сложным техническим системам обычно свойственны многомерность, нелинейность, неопределенность, существенно затрудняющие исследование их поведения и решение задачи управления. Из-за этого приходится сталкиваться с двумя важными и взаимосвязанными проблемами: поиском наилучшего решения и преодолением вычислительной трудоемкости методов и алгоритмов нахождения таких решений. Достигнутый уровень развития средств вычислительной техники и информационных технологий позволяет отказаться в теории управления от приемов и методов, лишь частично преодолевающих вычислительные трудности, и воспользоваться подходом, основанным на параллельных и распределенных вычислениях.

Качество управления реальными техническими системами существенно зависит от удачного подбора их математического описания и обоснованного задания требований к результату функционирования. В зависимости от вида неопределенности для ее преодоления приходится применять разные методы, но не всегда очевидно, какой из них предпочтительнее. Последовательный перебор этих

методов требует больших временных затрат, недопустимых при оперативном управлении. Параллельные вычисления на многопроцессорных компьютерах, обеспечивая одновременное проведение расчетов несколькими методами, устраняют такую ситуацию. В работе рассматривается возможность распараллеливания вычислений при применении многометодного и многовариантного анализа в задачах управления.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОПИСАНИЕ ПОДХОДА

Рассматриваются стохастические технические системы, функционирующие в условиях неопределенности. В зависимости от вида неопределенности и способов ее преодоления применяются различные методы построения математических моделей. Для таких систем требования к результату их функционирования приходится задавать в виде допусков на выходные показатели и применять вероятностно-допусковые критерии.

Предложенные в работах [1, 2] методы робастного управления, позволяющие преодолевать два вида неопределенности (априори неизвестные условные законы распределения выходных переменных и невозможность задания требований к результату функционирования рассматриваемой системы в виде конкретных значений выходных показателей), заключаются в следующем.

Пусть задана структура математической модели зависимости выходной переменной y

$$y = y(X, U) \quad (1)$$

исследуемого объекта от векторов входных контролируемых $X = (x_1, \dots, x_n)^T$ и управляющих $U = (u_1, \dots, u_m)^T$ переменных и установлены ограничения $y \in [A, B]$.

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Дальневосточного отделения РАН (грант конкурса проектов ДВО РАН 2003г., проект «Разработка методов и алгоритмов параметрического синтеза в стохастических системах», включенный в программу фундаментальных научных исследований Отделения ЭММПУ РАН, №14).

Предположим, что условная плотность распределения вероятностей $p(y|U)$ принадлежит некоторому классу K унимодальных распределений $p_1(y|U), \dots, p_r(y|U)$.

Из-за наличия помех вычисленное по выражению (1) значение выхода является его условным математическим ожиданием, а сама модель – уравнением регрессии. Используя это выражение, в пространстве управлений U при $X = X_j$ для каждого j -го распределения класса K строится область $S_U^{(j)}$ допустимых управлений, в которой для любого вектора управлений $U \in S_U^{(j)}$ выполняется вероятностное неравенство

$$P\{y \in [A, B]\} \geq P_0, \quad (2)$$

где P_0 – заданное значение вероятности. Их пересечение $F = \bigcap_{j=1}^r S_U^{(j)}$ образует область робастных управлений, в которой целевое условие (2) мало чувствительно к конкретному виду условного закона распределения. Кроме вероятностно-допускового критерия (2) может использоваться допусковый критерий [1]. Требования к выходной переменной при этом задаются в виде допуска $[A, B]$, а задача управления состоит в нахождении в пространстве управлений области S_U , обеспечивающей выполнение целевого условия.

Если требования к результату функционирования объекта заданы в виде допуска на значения выходной переменной y , известны ее регрессионная зависимость от управляющих переменных при фиксированных входных переменных $y = y(X, U)$ и ограничения на управляющие переменные, то область S_U описывается системой неравенств

$$\left. \begin{aligned} A \leq y(u_1, \dots, u_n) \leq B \\ u_j^{\min} \leq u_j \leq u_j^{\max}, \quad j = 1, \dots, m \end{aligned} \right\}. \quad (3)$$

При векторном выходе $Y = (y_1, \dots, y_k)^T$ область робастных управлений исследуемой системы строится сначала для каждой его компоненты. Их пересечение, если оно не пусто, и является областью робастных управлений всей системы. Если же оно пусто, то приходится анализировать и при необходимости корректировать допуски $[A_i, B_i]$ на компоненты вектора выхода, уточнять для них классы условных законов распределения и проверять правильность задания принятых значений вероятностей. Но в связи с тем, что заранее неизвестно, будет ли в случае векторного выхода пересечение F непустым, кроме вероятностно-допускового критерия, дополнительно к критерию (2) по каждой выходной переменной применяется допусковый критерий [2]

$$A_i \leq y_i \leq B_i, \quad i = 1, \dots, k, \quad (4)$$

дополненный ограничениями на управляющие переменные. Это позволяет при $F = \emptyset$ попытаться скорректировать ограничения $A_i, B_i, i = 1, \dots, k$.

Изложенный подход требует уточнения параметров модели по текущим данным, выбора класса условных распределений выходных переменных, решения систем нелинейных неравенств, нахождения областей допустимых и робастных управлений. Поскольку это связано с большими временными и вычислительными затратами, возникает задача исследования возможности распараллеливания вычислений с помощью многометодного и многовариантного анализа, чтобы предложить алгоритмы распараллеливания и способы организации вычислений, построить их структурные схемы, выбрать средства программной реализации.

АНАЛИЗ ЗАДАЧИ И ВЫЯВЛЕНИЕ ЕЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ПАРАЛЛЕЛИЗМА

На этапе построения и уточнения параметров математической модели (1) в описанных выше условиях путем организации параллельных вычислительных потоков обеспечивается одновременное проведение расчетов несколькими методами с разными наборами данных. Каждый поток реализовывает один метод построения модели на отдельном процессоре, и по заданному критерию адекватности выбирается наилучшая модель [3, 4].

Параллельные вычисления позволяют заменить сложно формализуемую процедуру выбора класса условных распределений одновременным рассмотрением различных вариантов возможных из технологических соображений классов распределений с последующим выбором лучшего результата [3].

При построении областей допустимых и робастных управлений приходится исследовать и решать системы в общем случае нелинейных неравенств (3), общих методов решения которых не существует. Предложенный в работе [5] алгоритм обеспечивает переход к линейным системам, решаемым известными методами. Распараллеливание ускоряет вычисления при проверке нелинейных неравенств на выпуклость, замене каждого выпуклого неравенства несколькими линейными неравенствами, поиске опорных гиперплоскостей для невыпуклых неравенств и решении системы линейных неравенств на этапе нахождения координат вершин выпуклого многогранника, описывающего область робастных управлений.

При нахождении областей допустимых и робастных управлений для векторного выхода распараллеливание применяется при одновременном использовании допускового и вероятностно-допускового критериев. Кроме ускорения процесса вычислений, расширяется возможность получения непустой области робастных управлений.



СТРУКТУРНЫЕ СХЕМЫ АЛГОРИТМОВ РАСПАРАЛЛЕЛИВАНИЯ

Схема реализации алгоритма распараллеливания при выборе текущего управления в случае скалярного выхода приведена на рис. 1. Предполагается, что модель (1) уточняется по трем модификациям стандартного регрессионного анализа (метод текущих наименьших квадратов, взвешенный метод наименьших квадратов и метод наименьших квадратов с переменной глубиной памяти) с использованием, соответственно, разных длин текущих интервалов, весовых коэффициентов и глубин памяти [3]. Для построения областей допустимых управлений и последующего оперативного управления выбирается по заданному критерию наилучшая модель. Одновременное применение разных методов идентификации и расчет по ним нескольких вариантов моделей формируют группу алгоритмов, каждый из которых работает достаточно эффективно только в определенной ситуации. При этом обеспечивается автоматический анализ различных вариантов построения моделей разными методами по заданному критерию.

Схема распараллеливания вычислений при построении области робастных управлений для одного класса условных распределений выходной переменной приведена на рис. 2. Робастные области управления строятся для каждого класса, среди них определяется лучшая по заданному критерию, и в ней выбирается текущее управление.

При преобразовании системы нелинейных неравенств в систему линейных неравенств распараллеливание ускоряет проверку на выпуклость нелинейных неравенств, замену каждого выпуклого неравенства несколькими линейными и поиск опорных гиперплоскостей для невыпуклых неравенств [5]. Схема реализации алгоритма для k неравенств (k – число доступных процессоров) приведена на рис. 3, где $Ineq_i$ – проверка на выпуклость i -го нелинейного неравенства, Con – рассылка данных о выпуклых неравенствах на k_1 процессоров, $Ncon$ – рассылка данных о невыпуклых неравенствах на k_2 процессоров, Ap_i – аппроксимация i -го выпуклого неравенства i_p линейными неравенствами, Bas_i – замена i -го невыпуклого неравенства ограничивающей гиперплоскостью, Система – формирование системы линейных неравенств.

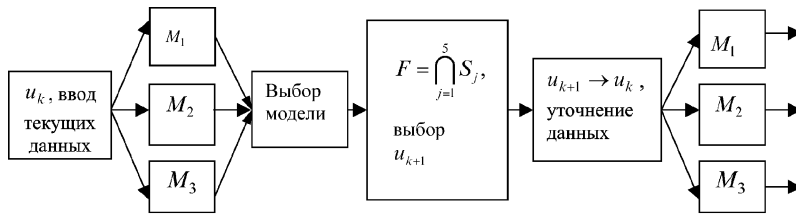
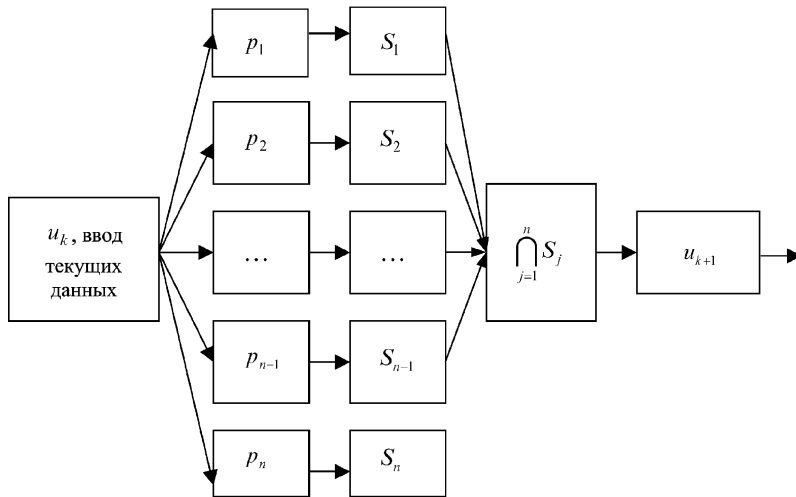
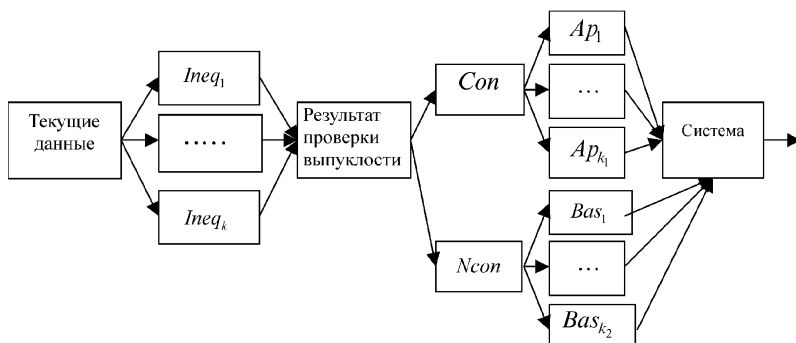
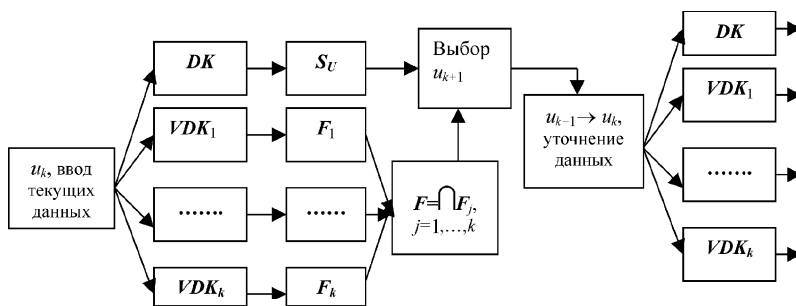
Схема распараллеливания вычислений при построении областей допустимых и робастных управлений для векторного выхода приведена на рис. 4. Распараллеливание применяется при одновременном использовании допускового и вероятностно-допускового критериев. В случае допускового критерия исходная система неравенств включает

все ограничения на выходные переменные из выражений (3) и (4), а для вероятностно-допускового критерия – только на конкретный выходной показатель. При такой схеме вычислений выбор текущего управления осуществляется из области $S_U \cap F$, если $F \neq \emptyset$ и $S_U \neq \emptyset$; из S_U , если $F = \emptyset$ и $S_U \neq \emptyset$; из F , если $F \neq \emptyset$ и $S_U = \emptyset$. На рис. 4 приняты обозначения: DK – формирование системы неравенств для построения области допустимых управлений по допусковому критерию; S_U – область допустимых управлений, полученная по допусковому критерию; VDK_i – формирование системы неравенств для построения области робастных управлений i -й выходной переменной по вероятностно-допусковому критерию; F_i – область робастных управлений i -й выходной переменной, полученная по вероятностно-допусковому критерию.

СРЕДСТВА ПРОГРАММНОЙ РЕАЛИЗАЦИИ И СХЕМА ВЫЧИСЛЕНИЙ

Программная реализация параллельных вычислений во многом определяется языковыми и инструментальными средствами программирования, архитектурой используемых компьютеров. Поскольку предлагаемые алгоритмы предполагают распараллеливание как по данным (одна параллельная инструкция воздействует на разные потоки данных), так и по процессам (различные потоки данных участвуют в вычислительном процессе под управлением различных потоков команд), применяются системы с массовым параллелизмом.

Для распараллеливания описанных алгоритмов используется MPMD-модель программирования (Multiple Program – Multiple Data) [6], обеспечивающая выполнение различных программ над разными потоками данных и учитывающая основные признаки, присущие параллельным программам (параллелизм, масштабируемость, локальность, модульность). Для уменьшения числа и объема сообщений, которыми обмениваются параллельно работающие процессоры, и сокращения общего времени решения задачи распараллеливание осуществляется на уровне крупных блоков. Структура обменов однородна в пределах одного блока и между блоками и не всегда однородна при передаче параметров отдельных методов. Как основное средство программирования применяется система передачи сообщений MPI (Message Passing Interface) [6], практически являющаяся стандартом для программирования алгоритмов с массовым параллелизмом. Это объясняется тем, что MPI обеспечивает единый механизм взаимодействия ветвей внутри параллельного приложения независимо от машинной архитектуры, взаимного расположения ветвей


Рис. 1. Схема выбора управления на текущем $(k + 1)$ -м шаге

Рис. 2. Схема выбора текущего управления на основе областей допустимых управлений

Рис. 3. Схема реализации алгоритма преобразования k нелинейных неравенств в линейные

Рис. 4. Схема выбора управления для векторного выхода на текущем $(k + 1)$ -м шаге

и интерфейса разработчика приложений операционной системы. Кроме того, программы, использующие MPI, легче отлаживаются (сужается простор для совершения стереотипных ошибок параллельного программирования) и быстрее переносятся на другие платформы (имеются компиляторы для Си, Си++ и Фортрана). Программная реализация алгоритма ориентирована на многопроцессорную систему МВС-1000/16 под управлением ОС LINUX. С учетом того, что максимально доступное количество процессоров в системе относительно невелико и равно 16, выбрана крупноблочная схема распараллеливания.

При реализации описанных алгоритмов распараллеливания вычислений работа на корневом процессоре начинается с ввода матрицы исходных данных и формирования классов условных распределений выходных переменных, для которых будут строиться области робастных управлений. Основные этапы вычислений на каждом временном шаге представлены следующей схемой:

- обновление матрицы данных на корневом процессоре;
- рассылка обновленных данных всем остальным процессорам;
- обновление и уточнение параметров конкретных методов на корневом процессоре для построения различных вариантов моделей;
- рассылка обновленных параметров всем остальным процессорам;
- построение разных вариантов модели по каждому методу на параллельных процессорах;
- сборка полученных результатов на корневом процессоре;
- выбор лучшего варианта модели по каждому методу на корневом процессоре;
- выбор наилучшей модели на корневом процессоре;
- рассылка полученных результатов остальным процессорам;
- построение областей допустимых управлений на отдельных процессорах;
- построение области робастных управлений на отдельных процессорах;
- сборка полученных результатов на корневом процессоре;



- выбор наилучшей области робастных управлений на корневом процессоре;
- выбор текущего управления на корневом процессоре;
- рассылка полученных результатов по остальным процессорам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе исследованы возможности применения параллельных вычислений для оперативного управления. На примере алгоритма робастного управления рассмотрено применение многометодного и многовариантного анализа. Изложены основные этапы распараллеливания: анализ задачи и выявление ее потенциального параллелизма, выбор схемы алгоритмов распараллеливания, схемы вычислений и средств программирования задачи. Выполненные исследования показывают, что предлагаемый алгоритм обладает значительным объемом потенциального параллелизма и хорошей, с точки зрения распараллеливания, структурой.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Бернацкий Ф. И., Пащенко Ф. Ф.* Синтез робастных алгоритмов управления технологическими объектами // Автоматика и телемеханика. — 1997. — № 12. — С. 150–162.
2. *Бернацкий Ф. И., Диго Г. Б., Диго Н. Б.* Моделирование алгоритмов робастного управления технологическими процессами // Информатика — Машиностроение. — 1998. — № 4. — С. 22–27.
3. *Бернацкий Ф. И., Диго Г. Б., Диго Н. Б.* Применение многометодной технологии в робастном управлении // Информатика и системы управления. — 2002. — № 2(4). — С. 88–96.
4. *Бернацкий Ф. И., Диго Г. Б., Диго Н. Б.* Многометодная технология в задачах идентификации // Тр. II Междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления» (SICPRO'03). Москва, 2003. — С. 631–636.
5. *Бернацкий Ф. И., Диго Г. Б., Диго Н. Б.* Построение робастных областей допустимых управлений // Информатика и системы управления. — 2003. — № 1(5). — С. 92–100.
6. *Воеводин В. В., Воеводин Вл. В.* Параллельные вычисления. — СПб.: БХВ-Петербург, 2002. — 609 с.

☎ (4232) 31-02-02

E-mail: bernatsk@iacp.dvo.ru



ABSTRACTS

Popkov Yu.S.

MACROSYSTEMS AND GRID TECHNOLOGIES: DYNAMIC STOCHASTIC NETWORK MODELING

The paper discusses the development of Internet in the near-term outlook (Grid technologies) as a dynamic stochastic network whose state is characterized by the spatial distribution of data-processing resources and information flows. Based on the generalized entropy maximization principle, it offers the models of locally-steady states of the net, which are a component part of a data-processing resources evolution model. This model is classified as a positive dynamic system with an entropy operator. — P. 10.

Krapukhina N.V., Pastukhova K.M., Sviridov P.A.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE TECHNIQUES IN ON-LINE CONTROL AND OPTIMIZATION OF COMPLEX PROCESS SYSTEMS

Some features of applying genetic algorithms in the optimization of complex continuous stochastic systems are discussed. The paper makes an attempt to improve the convergence of iterative techniques used for such systems calculation. — P. 21.

Bernatsky F.I., Digo G.B., Digo N.B.

PARALLEL COMPUTATIONS IN CONTROL PROBLEMS

The paper considers the problems of complex technical systems control under uncertainty conditions based on multimethod and multivariant analysis. It discusses the possibility of applying multiprocessor computers for computation multisequencing. — P. 25.

ЭКСПЕРТНО-СТАТИСТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ И ИМИТАЦИОННО-ОЦЕНОЧНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ¹

А.Г. Беляков, А.С. Мандель, Н.И. Борзенко, А.В. Лапин, А.Б. Токмакова, В.В. Шушков

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

Описаны процедуры прогнозирования на основе метода аналогов. Рассмотрены две программные системы, реализующие совокупность экспертно-статистических процедур прогнозирования временных рядов по коротким выборкам (система ЭКСПАМ) и схему имитационного моделирования процесса экспертно-статистических систем прогнозирования на стадии предварительного обследования объекта прогнозирования (система ЭКСПРИМ).

ВВЕДЕНИЕ

При прогнозировании различного рода процессов в экономике и технике нередки ситуации, когда сведения о поведении объекта в его предыстории либо весьма ограничены, либо — даже если они достаточно полны — имеют одну особенность, которая заключается в том, что к моменту выполнения прогнозных расчетов тенденции развития процесса успевают претерпеть серьёзные изменения. Не исключён также вариант острой необходимости прогнозирования будущих значений временного ряда в те моменты времени, когда известны только самые первые значения ряда либо выборка вообще пуста. Например, в случае выхода нового товара на рынок, когда успех или провал обусловлен первыми неделями продаж. В силу специфики прикладной проблемы промедление в формировании прогноза может впоследствии сделать саму процедуру прогнозирования неактуальной. В подобных условиях традиционные статистические методы прогнозирования зачастую не работают вообще либо приводят к недостоверным результатам. В результате приходится прибегать к использованию дополнительной, чаще всего, экспертной информации.

Один из способов прогнозирования с использованием экспертной информации состоит в прогнозировании на основе подбора аналогов. Суть метода аналогов связана с гипотезой о том, что в подобных ситуациях опытные эксперты-предметники обычно обращаются к своему профессиональному багажу и стараются сформировать прогноз, опираясь на “прецеденты”, т. е. на наблюдавшиеся ранее похожие процессы или объекты — аналоги. Для многих предметных областей выполнение этой гипотезы отлично подтверждается практикой.

Метод аналогов можно применять в ситуациях, когда:

- отсутствует или крайне ограничена статистическая информация об объекте прогнозирования, и прогнозирование можно осуществить, руководствуясь, прежде всего, информацией субъективного характера;
- по каким-либо причинам эксперты не желают или затрудняются сформировать интервальные или точечные оценки будущих значений временного ряда;
- наличествует экспертная информация об объекте прогнозирования, позволяющая отнести его к тому или иному классу объектов;
- в распоряжении экспертов имеется представительный набор статистических данных о длинных отрезках предыстории для значительного числа ранее наблюдавшихся объектов, которые могут служить потенциальными аналогами нового объекта.

¹ Статья рекомендована к печати Программным комитетом Второй международной конференции по проблемам управления (Москва, 2003 г.).



Процедура прогнозирования на основе метода аналогов обладает двумя серьёзными преимуществами:

- диалог с экспертом ведётся на хорошо понятном ему языке (из его “родной” предметной области), без употребления специальных статистических терминов типа “тренд”, “значения временных рядов” и т. п;
- процесс подбора аналогов позволяет собирать большие объёмы экспертной информации об объекте прогнозирования; при этом вполне возможно не только построение тренда на основе временных рядов объектов-аналогов или вычисление интервальных оценок значений конкретных членов временных рядов, но и применение других методов статистической обработки информации об объектах-аналогах.

КРАТКИЙ ОЧЕРК МЕТОДА АНАЛОГОВ [1]

Предъявляемый эксперту объект прогнозирования (ОП) представляет собой отрезок временного ряда длины N : $y(n)$, $n = 0, 1, 2, \dots, N$ (в частном случае N может быть равно нулю: полное отсутствие выборки данных). В ответ на предъявленную выборку данных (и/или сообщаемое ему наименование ОП) эксперт формирует перечень объектов-аналогов, которые представлены в базе данных системы прогнозирования “полными” временными рядами, т. е. рядами, длина которых существенно превосходит число N .

Пусть Z – множество номеров отобранных экспертом объектов-аналогов, для каждого из которых эксперт имеет право (но не обязан) задать две числовые характеристики: *коэффициент похожести* l_k , $k \in Z$, и *коэффициент масштаба* s_k , $k \in Z$. В данном контексте эксперт самостоятельно (без каких-либо комментариев со стороны разработчика) определяет смысл понятия “похожесть”, характеризуя тем самым свои неформализованные, чисто субъективные представления о качестве подобранного им аналога в смысле его сходства с ОП. Что касается коэффициента масштаба, то его отличное от единицы значение означает, что временной ряд объекта-аналога по форме близок к временному ряду ОП, но отличается от него размахом. Если эксперт затрудняется или “ленится” дать оценки соответствующих коэффициентов, то по умолчанию они полагаются равными единице.

По всем потенциальным аналогам база данных экспертно-статистической системы (ЭСС) прогнозирования содержит информацию о временных рядах процессов функционирования объектов-аналогов в форме зафиксированных в базе данных реализаций $\{x_k(n), n = 0, 1, 2, \dots, N_1\}$, где $N_1 \gg N$. После того, как множество аналогов Z выбрано,

предметом изучения становится набор реализаций временных рядов аналогов $\{x_k(n), k \in Z, n = 0, 1, 2, \dots, N_1\}$, а также множества значений коэффициентов похожести $\{l_k, k \in Z\}$ и множества коэффициентов масштаба $\{s_k, k \in Z\}$.

Для вычисления прогноза значений временного ряда ОП в моменты времени n , $n > N$, используется следующая формула:

$$y(n) = \frac{1}{L} \sum_{k \in Z} \alpha_k l_k s_k x(n), \quad (1)$$

где $L = \sum_{k \in Z} l_k$. При $N > 0$ значения коэффициентов α_k , $k \in Z$, определяются в результате решения следующей задачи минимизации:

$$\min_{\{\alpha_k, k \in Z\}} \sum_{n=1}^N \left(\frac{1}{L} \sum_{k \in Z} \alpha_k l_k s_k x(n) - y(n) \right)^2. \quad (2)$$

Смысл этой задачи заключается в том, что в результате её решения достигается оптимальная интерполяция уже наблюдавшаяся в интервале длины N части реализации временного ряда ОП $y(n)$, $n = 0, 1, 2, \dots, N$ набором дискретных по времени кривых $\{x_k(n), k \in Z, n = 0, 1, 2, \dots, N\}$.

Если $N = 0$ (т. е. выборка данных по ОП вообще отсутствует), то все α_k , $k \in Z$, полагаются равными единице.

ВНЕСЕНИЕ КОРРЕКТИРОВОК В ПРОЦЕСС ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Если в результате применения методов автоматической классификации [2] вся информация по объектам, хранящимся в базе данных ЭСС прогнозирования, структурирована, то для уточнения формируемых системой и экспертом прогнозов целесообразна организация диалога между экспертом и ЭСС с целью корректировки множества объектов-аналогов.

Действительно, в рамках метода аналогов точность прогноза зависит только от правильности подбора множества аналогов (и, разумеется, от квалификации эксперта-прогнозиста). Следует помнить, что результаты автоматической классификации и той неявной классификации, которую мы несколько вольно назовём “практическим опытом эксперта”, могут не совпадать, а эксперт обладает правом “дезаурировать” любые рекомендации ЭСС. При формировании классов похожести эксперт и ЭСС могут пользоваться разными “метриками”. Таким образом, в процессе диалога с целью корректировки множества аналогов ЭСС работает только в режиме советчика.

Интерактивная процедура взаимодействия ЭСС и эксперта базируется на задании упорядоченного набора метрических параметров $\{d_1, d_2, \dots, d_R\}$, $d_1 < d_2 < \dots < d_R$, представляющих собой пороговые значения расстояний между построенными в результате применения процедур автоматической классификации классами. По этим порогам осуществляется экспертно-статистическая оценка “качества” выбранного экспертом множества аналогов.

Пусть экспертом отобрано множество аналогов Z и пусть в результате решения задачи автоматической классификации все объекты базы данных отнесены к некоторым классам похожести A_i , $i = 1, 2, \dots, M$. Возможны следующие основные варианты.

- Все объекты множества Z принадлежат одному из классов или нескольким классам похожести, “центры” которых находятся в пределах сферы диаметром d_1 . В этом случае ЭСС “молчит”, признавая выбор эксперта непротиворечивым, и никаких “советов” по корректировке множества Z эксперту не предлагает.
- Большая часть объектов множества Z принадлежит одному из классов или нескольким классам похожести, “центры” которых находятся в пределах сферы диаметром d_1 . Однако имеется и некоторое количество объектов, которые выходят за пределы шара d_1 и попадают в шары диаметрами d_2, \dots, d_R . В этом случае ЭСС информирует эксперта о некотором расхождении между объектами, используя формулировки, “сдержанность” которых зависит от степени удаления непохожих объектов (от “мне кажется” до “настоятельно рекомендую пересмотреть...”).
- Нет ни единой массовой группы объектов из множества Z , которые принадлежали бы одному-единственному шару диаметром d_1 . В этом случае определяются максимально удаленные между собой объекты, которые и выводятся на показ эксперту (например, отрезками соответствующих временных рядов) с информированием эксперта о том, что в осуществленной им выборке объектов-аналогов имеются заметные расхождения. Уровень существенности этих расхождений, как и выше, характеризуется с различной степенью “жесткости” (см. предыдущий пункт) в зависимости от того, какой из порогов d_2, \dots, d_R оказался превышенным.

При выборе аналогов помимо корректировки самого множества аналогов эксперту необходимо предоставить возможность внесения различных количественных поправок. Укажем некоторые варианты подобных корректировок: внесение изменений в значения весовых коэффициентов, которые характеризуют степень близости прогнози-

руемого ряда (ОП) к тем или иным аналогам из выбранного экспертом списка; непосредственные корректировки рекомендуемых системой поддержки принятия решений будущих значений временного ряда для ОП (прогнозов).

Таким образом, первоначальный прогноз формируется на основе выбранных экспертом аналогов с учётом заданных заранее весовых коэффициентов. Если в прогнозировании принимают участие несколько экспертов, то в качестве весовых коэффициентов может выступать частота упоминания экспертами каждого из аналогов.

ЭКСПАМ – ЭКСПЕРТНО-СТАТИСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПО МЕТОДУ АНАЛОГОВ

Метод аналогов реализован в программной системе ЭКСПАМ, предназначенной для выполнения экспертно-статистической обработки при прогнозировании временных рядов.

Система ЭКСПАМ ориентирована на тех экспертов-предметников, для которых одна из главных задач состоит в прогнозировании развития процессов и принятии решений на основе разнородной информации. Поскольку потенциальными пользователями системы оказываются эксперты по различным предметным областям, то задача разработчиков заключалась в создании простого “дружественного” интерфейса, который, с одной стороны, был бы достаточно универсальным, т. е. мог быть применен в максимально возможном числе предметных областей, с другой – легко настраиваемым (под терминологический базис конкретной предметной области).

Как сказано выше, пользователями системы ЭКСПАМ являются эксперты, занимающиеся прогнозированием развития различных явлений, описываемых временными рядами. Учитывая распространенную на практике и вполне естественную специфику процедур принятия решений, эксперты-пользователи системы делятся на две группы: “рядовые” эксперты, формирующие прогнозы на основе своего профессионального опыта и подготовленной для них статистической информации, и “главный” эксперт (эксперты), имеющий возможность просматривать и анализировать прогнозы “рядовых” экспертов, и на их основе принимать окончательные решения.

Структура системы ЭКСПАМ

Система состоит из следующих основных разделов:

- раздел предварительного прогнозирования;
- раздел прогнозирования на основе имеющихся статистических данных;
- раздел главного эксперта;
- раздел аналитики по экспертам.

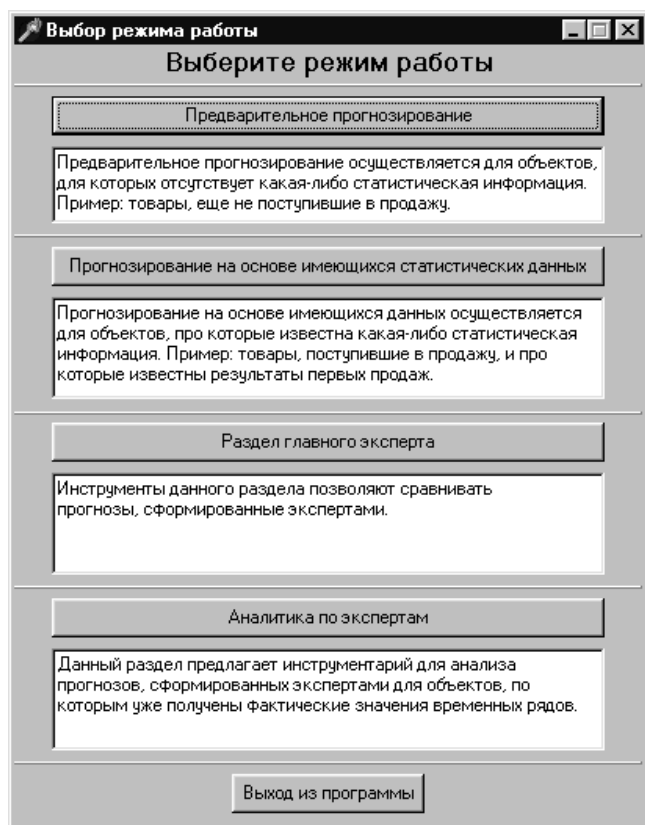


Рис. 1. Окно выбора разделов системы ЭКСПАМ

Раздел предварительного прогнозирования предназначен для формирования прогнозов временных рядов в те моменты времени, когда для объектов прогнозирования ещё отсутствуют результаты наблюдения описывающих их временных рядов. Основным инструментом данного раздела — прогнозирование на основе метода аналогов в чистом виде. С помощью интерфейса раздела эксперты выбирают объекты, которые, по их мнению, похожи на ОП. После ввода ряда коэффициентов и просмотра предварительных прогнозов работающий с системой эксперт утверждает список аналогов и сформированный на их основе прогноз. Результаты предварительного прогнозирования, списки аналогов, а также другие виды информации о прогнозе сохраняются в базе данных системы.

Раздел прогнозирования на основе имеющихся статистических данных включает в свой состав инструменты для формирования прогнозов в те моменты времени, когда для ОП уже получены первые наблюдавшиеся значения временного ряда. В данном разделе эксперты имеют возможность просматривать ранее сформированные прогнозы, изучать отклонения фактически полученных значений ряда от ранее спрогнозированных, знакомится с новыми прогнозами, сформированными системой на

основе модели авторегрессии, корректировать списки аналогов и новые прогнозы.

В *разделе главного эксперта* лицо, принимающее решения, — в дальнейшем мы будем называть его *главным экспертом* — может изучать и анализировать прогнозы и списки аналогов, сформированные “рядовыми” экспертами, и на их основе строить собственный, окончательный прогноз временного ряда. В данном разделе формируются “коэффициенты доверия к рядовым экспертам”, которыми описывается степень доверия главного эксперта к прогнозам рядовых экспертов. В дальнейшем коэффициенты доверия выступают в роли весовых коэффициентов при комбинировании прогнозов различных экспертов.

В *разделе аналитики по экспертам* содержится набор средств, позволяющих просматривать и анализировать историю формирования прогнозов и статистические данные по прогнозам, построенных рядовыми экспертами-пользователями системы. Раздел предназначен для главного эксперта и позволяет сравнивать прогнозы различных рядовых экспертов, сформированные для одних и тех же ОП, просматривать статистическую информацию об ошибках прогнозов каждого эксперта. Используется набор специально разработанных алгоритмов, которые позволяют так обработать предысторию формирования прогнозов рядовыми экспертами, чтобы оценить достоверность их действий и рекомендовать главному эксперту установить определённые значения коэффициентов доверия.

Окно выбора разделов представлено на рис. 1.

Рассмотрим некоторые детали процедур, реализованных в каждом из упомянутых разделов.

В разделе предварительного прогнозирования при отборе аналогов пользователь системы может выполнять следующие действия:

- просматривать статистическую информацию об объектах из базы данных, а также временные ряды в графическом и табличном представлениях;
- для каждого выбранного объекта вводить ряд коэффициентов, которые используются при формировании прогнозов, а именно:
 - коэффициент масштаба s_k , где k — номер аналога, описывающий соотношение между значениями элементов временного ряда объекта прогнозирования и значениями временного ряда объекта-аналога;
 - коэффициент похожести l_k , где k — номер аналога, описывающий степень уверенности эксперта в том, что временной ряд объекта прогнозирования будет близок к временному ряду объекта-аналога (с учетом коэффициента масштаба).

По умолчанию значение коэффициента масштаба устанавливается равным единице, а значе-

ние коэффициента похожести – 100% (в системе ЭКСПАМ оказалось удобнее использовать процентные, а не абсолютные, как в формуле (1), значения коэффициентов l_k).

После того, как экспертом выбраны все аналоги и заданы все коэффициенты, система строит прогноз. Значения прогнозируемого временного ряда вычисляются по упрощенному варианту формулы (1):

$$f_j = \frac{1}{L} \cdot \sum_{k=1}^K l_k s_k A_{kj}, \quad (3)$$

где K – количество аналогов, отобранных экспертом для объекта прогнозирования; f_j – значение

прогноза в точке j ; $L = \sum_{k=1}^K l_k$ – сумма значений ко-

эффициентов похожести для всех аналогов, отобранных для данного объекта; A_{kj} – значение временного ряда k -го аналога в j -й точке. В системе ЭКСПАМ процедура минимизации по коэффициентам α_k (см. формулу (2)) отсутствует, и все значения α_k полагаются равными единице.

Длина прогнозного периода (или, иными словами, длина периода упреждения прогноза), т. е. число точек, для которых осуществляется прогнозирование, задаётся пользователем.

Сформированный прогноз предлагается пользователю в виде графика и таблицы значений.

Пользователь системы имеет возможность скорректировать предложенный системой прогноз одним из следующих способов:

- скорректировать список аналогов;
- изменить значения введённых коэффициентов масштаба и похожести;
- вручную изменить значения прогнозного ряда.

В результате выполнения описанных шагов в базу данных системы заносятся:

- предварительный прогноз эксперта с необходимыми комментариями (имя эксперта, дата формирования прогноза и др.);
- список выбранных аналогов и введённых коэффициентов похожести и масштаба;
- значения ручных корректировок, осуществлённых экспертом применительно к прогнозу, который сформирован системой на основе списка аналогов, и соответствующих коэффициентов.

Раздел прогнозирования на основе имеющихся статистических данных, как следует из его названия, предназначен для формирования новых или корректировки ранее построенных прогнозов в те моменты времени, когда для объекта прогнозирования уже известны первые члены описывающего его временного ряда.

Главные задачи раздела:

- предоставление экспертам подробной информации о расхождениях между значениями сформированного ранее предварительного прогноза и фактически полученными значениями временного ряда;
- корректировка прогноза с учётом полученных статистических данных;
- построение прогнозов с помощью статистических методов;
- построение прогнозов на основе методов, объединяющих данные объективного и субъективного характеров;
- предоставление средств, позволяющих эксперту сравнивать, комбинировать и корректировать имеющиеся прогнозы с целью формирования нового, более точного прогноза.

После выбора пользователем объекта, для которого желательно уточнить прогноз, система предъявляет текущую информацию об уже известных членах ряда и об их расхождении с построенным прогнозом. Пользователю предоставляется следующая информация:

- отклонения прогнозного ряда от полученных фактических значений ряда для каждого уже известного члена ряда; эти отклонения демонстрируются в форме абсолютных значений и в виде процентов от фактических значений ряда;
- графики прогноза и статистики и график ряда ошибок прогноза;
- среднее значение, выборочная дисперсия и выборочное среднеквадратическое отклонение ряда ошибок прогноза;
- суммарные значения ошибки прогноза по всем известным точкам с учётом и без учёта знаков ошибок по каждой точке.

После просмотра информации пользователь может обратиться к встроенному в данный раздел системы пакету программ, который формирует прогнозы на базе модели авторегрессии.

Выбор оптимальной модели включает в себя следующие шаги:

- задание максимального порядка модели (в качестве потенциальных моделей рассматриваются только те модели, порядок которых не превышает заданную величину; по умолчанию максимальный порядок равен пяти, минимальный – единице);
- построение моделей авторегрессии всех порядков от минимального до максимального; значения параметров каждой модели вычисляются с помощью решения матричного уравнения Юла–Уокера:

$$AB = F,$$



где

$$A = \begin{pmatrix} R(0) & R(1) & \dots & R(p-1) \\ P(1) & 1 & & R(p-2) \\ \dots & & & \\ R(p-1) & R(p-2) & \dots & R(0) \end{pmatrix};$$

$$F = \begin{pmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \dots \\ a_p \end{pmatrix}; \quad B = \begin{pmatrix} R(1) \\ R(2) \\ \dots \\ R(p) \end{pmatrix};$$

$$R(k) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N-k} (x_i - \bar{x})(x_{i+k} - \bar{x}) - \text{выборочная ав-}$$

токорреляционная функция; \bar{x} – выборочное среднее;

– выбор оптимального по критерию Акаике порядка модели авторегрессии:

$$\bar{P} = \arg \min_{p_{\min} \leq p \leq p_{\max}} (N \ln(\text{var}(u) + 2p),$$

где \bar{P} , p_{\min} и p_{\max} – соответственно оптимальный, минимальный и максимальный порядки модели; $\text{var}(u)$ – дисперсия остатков модели, вычисляемая по формуле $\text{var}(u) = \text{var}(x)(1 - a_1 r(1) - \dots - a_p r(p)$,

где $r(k) = \frac{R(k)}{R(0)}$ – нормированная выборочная ав-токорреляционная функция; N – объем выборки.

В разделе прогнозирования на основе имеющихся статистических данных также реализован автоматический поиск объектов-аналогов, близкий по форме к процедурам поиска из раздела предварительного прогнозирования. Однако, в отличие от раздела предварительного прогнозирования, в данном случае ведётся приоритетный поиск тех объектов, значения временных рядов которых близки к фактически полученным значениям временного ряда, описывающего объект прогнозирования. Только после этого учитывается степень близости этих точек к членам прогнозного ряда, сформированного самим экспертом.

Для решения данной задачи вводится новая метрика r , а именно:

- задаётся число W , обозначающее количество точек, которые принимаются во внимание при поиске объектов-аналогов (по умолчанию $W = 10$);
- расстояние между объектами вычисляется по формуле:

$$r_{lm}^s = \gamma \frac{\sum_{i=1}^{W_1} (x_{li} - x_{mi})^2}{\sum_{i=1}^{W_1} x_{li}^2} + \delta \frac{\sum_{i=W_1+1}^W (x_{li} - x_{mi})^2}{\sum_{i=W_1+1}^W x_{li}^2},$$

где x_{li} и x_{mi} – i -е значение l -го и m -го временного ряда соответственно; γ и δ – коэффициенты, определяющие соответственно вклад известных статистических данных и прогнозируемых данных в расстояние между объектами, W_1 – число уже известных членов временного ряда.

Раздел главного эксперта предназначен для построения окончательного прогноза на основе прогнозов, сформированных рядовыми экспертами. С помощью средств данного раздела главный эксперт имеет возможность сравнивать прогнозы, сформированные для данного объекта другими экспертами, и с помощью ввода и корректировки коэффициентов доверия к экспертам сближать окончательный прогноз с прогнозами наиболее грамотных, с его точки зрения, рядовых экспертов. Коэффициент доверия к эксперту принимает значение от 0 до 100%. Окончательный прогноз вычисляется по следующей формуле:

$$x_i = \frac{1}{S_{\text{КД}}} \sum_{j=1}^M K_{\text{Д}j} x_{ij},$$

где x_i – значение i -й точки прогнозного ряда; $S_{\text{КД}}$ – сумма коэффициентов доверия по всем экспертам, сформировавшим прогнозы для данного объекта; M – число экспертов, сформировавших прогнозы для данного объекта; $K_{\text{Д}j}$ – коэффициент доверия j -му эксперту; x_{ij} – значение i -й точки в прогнозе, сформированном j -м экспертом.

В разделе аналитики по экспертам содержится разнообразная информация о прогнозах, сформированных рядовыми экспертами. Основной задачей данного раздела является предоставление главному эксперту информации и рекомендаций, на основе которых он мог бы делать выводы о точности прогнозов, формируемых рядовыми экспертами-пользователями системы.

Раздел состоит из трёх подразделов:

- аналитика по прогнозам, сформированным каждым рядовым экспертом;
- сравнительный анализ прогнозов, сформированных экспертами;
- общая аналитика по всем экспертам.

Описание экспериментов с системой ЭКСПАМ

Ниже приводится описание одного из натуральных экспериментов с системой ЭКСПАМ, когда перед экспертами компании-производителя, выпускающей широкий ассортимент продукции, была поставлена задача прогнозирования спроса на новый вид продукции. На базе прогноза, утвержденного главным экспертом компании, принималось решение об объёме производства этого нового вида. Главный эксперт принимал решение, руководствуясь своим профессиональным опытом и интуици-

ей, а также на основе прогнозов, подготовленных несколькими рядовыми экспертами компании независимо друг от друга.

Новый вид продукции будем называть “новым объектом”. Спрос на него представляется в виде временного ряда, каждый член которого описывает число проданных за одну неделю экземпляров нового объекта. Специфика рассматриваемой предметной области заключается в том, что спрос на новую продукцию, как правило, резко падает после первых недель присутствия товара на рынке (товары-“хиты”), и ошибки в предварительных прогнозах могут приводить к крайне неприятным экономическим последствиям для компании-производителя.

По каждому наименованию видов продукции, поступающих (или поступавших ранее) на рынок, в базе данных системы содержится информация следующих двух типов.

- Статистическая информация, т. е. временные ряды, описывающие зафиксированный ранее спрос на данный вид продукции, и статистические характеристики соответствующих рядов.
- Экспертная информация, т. е. различные характеристики и сведения об объектах, принадлежащих данной предметной области. Объекты из каждой предметной области обладают более или менее фиксированным и чётко определенным набором характеристик, поэтому после нескольких сеансов общения с экспертами, как правило, не составляет большого труда описать этот набор на языке разработчиков. В результате вся информация в базе данных системы оказывается структурированной, а это позволяет достаточно просто разбивать объекты на классы похожести и осуществлять другие необходимые в процессе прогнозирования операции.

Таким образом, перед экспертами была поставлена задача прогнозирования спроса на новый объект. Зафиксированный в результате спрос на новый объект показан на рис. 2. По оси абсцисс отложены номера недель, в которые фиксировался спрос на новый объект, а по оси ординат – уровень спроса в некоторых условных единицах.

Первый неформальный шаг процесса прогнозирования заключался в том, что эксперты компании на основе известной информации и характеристиках нового вида продукции причислили его к тому или иному классу. Важно отметить, что, руководствуясь известными характеристиками товара и (или) пользуясь собственными (грубыми) оценками спроса на новый вид продукции в первые две недели, эксперт может резко сузить список потенциальных объектов-аналогов.

Следующий шаг состоял в выборе аналогов в базе данных системы и вводе коэффициентов масштаба и похожести для отобранных аналогов. На основе известных характеристик нового объекта

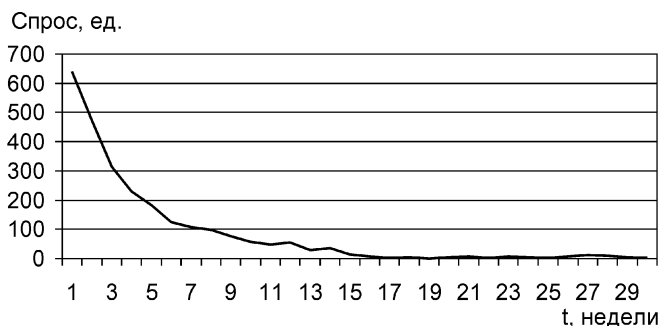


Рис. 2. График спроса на “новый объект”

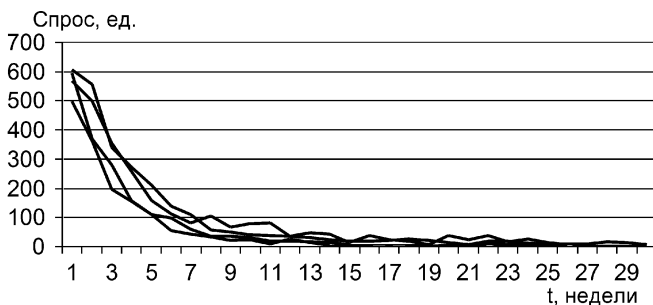


Рис. 3. Графики спроса на отобранные объекты-аналоги

каждым экспертом в качестве аналогов были подобраны несколько объектов. После ввода коэффициентов масштаба и похожести системой для каждого эксперта были сформированы прогнозы спроса на рассматриваемый объект.

Построив прогноз на основе выбранных аналогов и введенных коэффициентов, система в ряде случаев рекомендовала внести в списки некоторые изменения. Например, на рис. 3 показаны графики временных рядов объектов, отобранных одним из экспертов в качестве аналогов.

Один из объектов в списке аналогов отдалён от построенного прогноза больше, чем другие. Система порекомендовала эксперту удалить данный объект из списка аналогов. Кроме того, система предложила эксперту список объектов, временные ряды которых достаточно близки к сформированному прогнозу.

В результате выполнения описанной выше процедуры каждый из принимавших участие в процедуре прогнозирования экспертов сформировал свой собственный список аналогов и предварительный прогноз временного ряда. Данная информация, а также все необходимые комментарии были сохранены в базе данных системы.

Как сказано выше, итоговый прогноз формируется и утверждается главным экспертом компании. Как правило, подобная персона имеется во всех организациях. В разделе главного эксперта ему были представлены все прогнозы рядовых экспер-

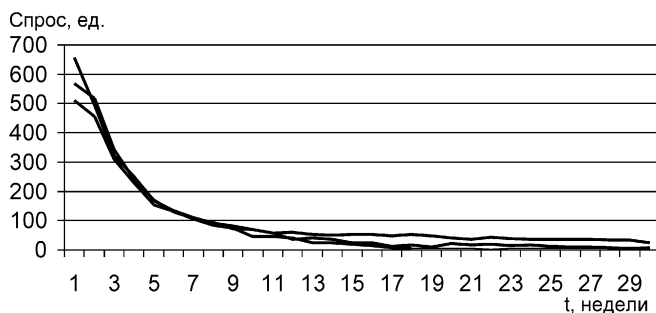


Рис. 4. Графики прогнозов, сформированных рядовыми экспертами

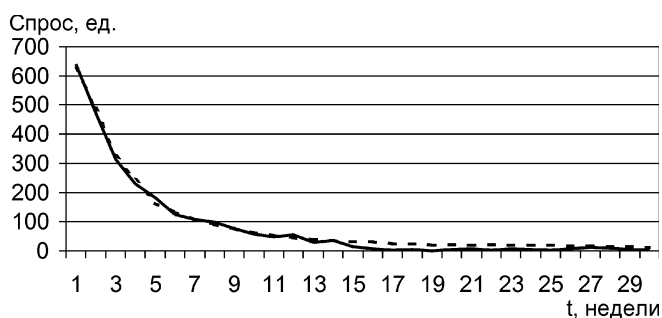


Рис. 5. Графики прогноза, сформированного главным экспертом

тов компании, а также списки аналогов, сформированные этими экспертами. На рис. 4 показаны графики сформированных экспертами прогнозов.

Главный эксперт с помощью средств раздела главного эксперта проанализировал прогнозы рядовых экспертов и внёс в них небольшие поправки. Корректировки касались, в первую очередь, коэффициентов доверия к экспертам. На рис. 4 видно, что прогнозы экспертов достаточно близки друг к другу, поэтому главный эксперт (с помощью изменения коэффициентов доверия) “пододвинул” результирующий прогнозный ряд к прогнозу одного из экспертов.

Графики итогового прогноза и фактически полученных значений временного ряда приведены на рис. 5. Штриховой линией представлены значения прогнозного ряда, сплошной – фактически полученные значения ряда. Как видно из рисунка, класс, к которому принадлежал объект прогнозирования, а также объекты-аналоги были подобраны рядовыми экспертами правильно, и прогноз оказался достаточно точным.

ЭКСПРИМ – СИСТЕМА ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ВЕРИФИКАЦИИ СИСТЕМЫ ЭКСПАМ

Перед тем, как рекомендовать системы, подобные ЭКСПАМ, к внедрению, чрезвычайно важно

убедиться в том, что они эффективны. Проблема верификации эффективности и, в частности, подтверждения достоверности выводов, формируемых с помощью экспертно-статистических систем, достаточно сложна, поскольку организовать статистически значимое экспериментальное исследование таких систем с участием высококвалифицированных экспертов, отвлекая их от основной работы, весьма непросто.

В качестве одного из альтернативных способов проверки достоверности рекомендаций, формируемых экспертно-статистическими системами, предлагаются процедуры имитационного моделирования, реализованные в форме системы ЭКСПРИМ.

В систему ЭКСПРИМ встроена 16-параметрическая модель поведения эксперта, которая позволяет имитировать различные уровни профессионализма и психологические типы экспертов (от оптимистов до пессимистов) при решении ими проблем прогнозирования спроса на вновь выпускаемую продукцию на базе применения экспертно-статистической системы поддержки процесса прогнозирования ЭКСПАМ. Более подробное описание результатов экспериментов с системами ЭКСПРИМ и ЭКСПАМ можно найти в брошюрах [3, 4].

Ниже мы ограничимся тем, что приведём несколько таблиц и графиков, построенных с помощью системы ЭКСПРИМ.

При моделировании эксперта для описания его профессионализма были введены параметры первого (Ep_1) и второго (Ep_2) рода. Параметр профессионализма первого рода характеризует способность эксперта к правильному назначению объектов-аналогов, он изменяется от 1 до 5 (от абсолютной некомпетентности до идеального выбора). Параметр профессионализма второго рода характеризует способность эксперта к точному формированию и корректировке самих прогнозов, “угадыванию” (он также изменяется от 1 до 5: от грубых промахов до идеального “угадывания” – не эксперт, а “волшебник”).

Из табл. 1 видно, что с ростом каждой из степеней профессионализма (Ep_1 , Ep_2) среднее значение ошибки прогноза уменьшается, причём основной вклад вносит увеличение значения Ep_1 , т. е. параметра, характеризующего способность эксперта правильно подбирать объекты, похожие на ОП. Меньший вклад параметра Ep_2 , т. е. способности эксперта угадывать значения прогнозируемого ряда, объясняется тем, что эксперт производит ручную корректировку значений ряда с вероятностью, не равной единице, а – стало быть – не всегда.

Из табл. 2 ясно, что для эксперта с наименьшим значением параметра Ep_1 среднеквадратическое отклонение ошибки прогноза растёт с увели-

чением значения параметра Er_2 . Причина такого роста понятна. Среднее значение ошибки прогноза велико, т. е. прогноз сильно отклонён от фактического значения ряда. Однако с ростом значения параметра Er_2 увеличивается вероятность того, что эксперт, несмотря на некорректный подбор аналогов, всё-таки более или менее точно угадает будущее значение ряда. Но так как ручная корректировка осуществляется с отличной от единицы вероятностью, то получается, что эксперт в качестве прогноза может указать как сильно удалённое от фактических данных значение (т. е. не сможет не скорректировать прогноз, выполненный на основе некорректных аналогов), так и достаточно близкое к фактическим данным значение прогноза. Это и приводит к росту среднеквадратического отклонения ошибки прогноза с увеличением значения параметра Er_2 при наименьшем значении параметра Er_1 .

С ростом значения параметра Er_1 данная зависимость становится менее выраженной, а с приближением параметра Er_2 к максимальному значению и вовсе “исчезает”. Это можно объяснить тем, что прогноз, сформированный экспертом на основе аналогов, становится достаточно близким к фактическому значению ряда, а ручная корректи-

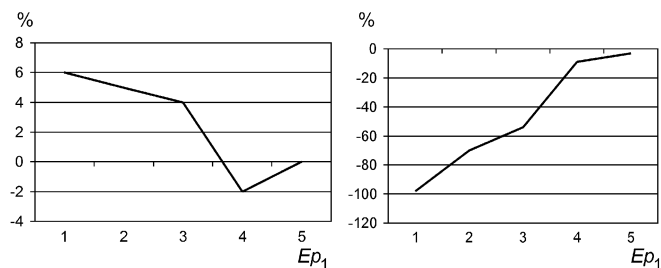


Рис. 6. Зависимость среднего значения ошибки прогноза для первой точки от значения параметра Er_1

ровка, если и осуществляется, то, как правило, на отрезке между прогнозом и фактическим значением ряда. Поскольку с ростом параметра Er_1 длина данного отрезка уменьшается, то дисперсия ошибки практически перестаёт зависеть от значения параметра Er_2 .

Приведенные результаты получены для объекта, по которому в базе данных системы имеется очень небольшое число аналогов. Для объектов, по которым в базе данных содержится значительное число аналогов, ситуация несколько иная. Дело в том, что, даже если выбор аналогов осуществляется непрофессиональным экспертом, вероятность отбора объектов из близких к ОП групп похожести достаточно велика. К примеру, на рис. 6 приведены графики для двух объектов, по которым в базе данных имелось значительное число аналогов.

Более полное описание многочисленных экспериментов с системой ЭКСПРИМ можно найти в брошюре [4]. Эти эксперименты доказывают, что предложенный подход к прогнозированию временных рядов по коротким выборкам позволяет получать адекватные (и по точности прогноза, и по числу необходимых для этого шагов) решения задач прогнозирования.

Таблица 1

Зависимость среднего значения ошибки прогноза для первой точки ряда от степеней профессионализма эксперта Er_1 и Er_2

Er_1	Er_2				
	1	2	3	4	5
1	-587	-507	-433	-340	-292
2	-420	-411	-301	-232	-188
3	-265	-267	-198	-159	-125
4	-82	-78	-38	-37	-35
5	-39	-20	-20	-19	-8

Таблица 2

Зависимость среднеквадратического отклонения ошибки прогноза для первой точки ряда от степеней профессионализма эксперта Er_1 и Er_2

Er_1	Er_2				
	1	2	3	4	5
1	88	114	167	226	296
2	161	125	175	189	249
3	169	143	142	152	182
4	86	73	73	71	62
5	55	53	45	51	47

ЛИТЕРАТУРА

1. Мандель А. С. Метод аналогов в прогнозировании коротких временных рядов: экспертно-статистический подход // Автоматика и телемеханика. — 2004 (в печати).
2. Бауман Е. В., Дорофеев А. А. Классификационный анализ данных / В кн.: Избр. тр. Междунар. конф. по проблемам управления. Т. 1. — М.: СИНТЕГ, 1999.
3. Беляков А. Г., Мандель А. С. Прогнозирование временных рядов на основе метода аналогов (элементы теории экспертно-статистических систем). Препринт. — М.: Институт проблем управления, 2002.
4. Беляков А. Г., Мандель А. С. Анализ достоверности выводов, формируемых с помощью экспертно-статистических систем. Препринт. — М.: Институт проблем управления, 2002.

☎ (095) 334-89-69

E-mail: manfoon@ipu.rssi.ru





СИСТЕМНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ФИНАНСОВО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Л.А. Кузнецов

Липецкий государственный технический университет

Получено формальное математическое описание финансово-хозяйственной деятельности предприятия над полем бухгалтерского учета. Разработан математический аппарат, дающий возможность описать результаты финансово-хозяйственной деятельности конкретного предприятия в форме и в терминах, общепринятых в математической теории решения задач условной оптимизации. Проиллюстрирована технология автоматизации процедур решения задач управления, финансового анализа и исследования идеологии управления предприятием.

ВВЕДЕНИЕ

Задача менеджмента состоит в выработке рациональных управлений организацией. Качество управления определяется полнотой учета факторов, которые могут влиять на конечный результат, и правильностью представления характера их влияния. Особую трудность представляет последнее: корректное и эффективное, в смысле задачи принятия решения описание причинно-следственных связей между управленческим решением и его влиянием на результат. Совершенно очевидно, что эффективным может быть только такое представление причинно-следственных связей, которое позволяет просчитать всю цепочку зависимостей от принимаемого решения (изменения выбранных производственных или финансовых характеристик) до конечного результата (например, изменения прибыли или активов предприятия).

Возможность получения количественного результата для различных вариантов управления позволяет их оценить, сравнить и определить предпочтительные варианты. В работах по менеджменту (см., например, работу [1]) можно найти массу красиво исполненных схем, иллюстрирующих взаимосвязи различных управленческих структур и задач управления, советов куда двигаться и какие решения следует получать. Однако в них нельзя найти инструменты, позволяющие решать постав-

ленные задачи без отрыва от финансового состояния конкретного предприятия, формально (математически) описать эти задачи в структурах и терминах, позволяющих применить для конкретного предприятия какие-либо результативные методы отыскания оптимальных решений. Часто приводятся математические модели, взятые из книг по исследованию операций. В работах по исследованию операций имеется множество постановок и решений задач по управлению ресурсами и запасами, планированию производства, управлению инвестициями и т. д., и т. п., но описание предметной области в них таково, что оно не может быть связано с состоянием конкретного предприятия. Поэтому применение результатов этих работ для решения проблем конкретного предприятия представляет собой задачу весьма сложную.

Цель данной работы — устранение бреши между реально существующей системой учета результатов финансово-хозяйственной деятельности хозяйствующего субъекта и существующими формальными математическими методами системного анализа результатов деятельности и определения оптимальных решений для конкретного предприятия. Предполагаются известные принципы бухгалтерского учета. В работе дается формальная интерпретация бухгалтерских операций, алгебраическое описание финансово-хозяйственной деятельности предприятия над полем бухгалтерского учета и методология решения разнообразных задач анализа и

оптимального управления деятельностью предприятия. Благодаря переходу к описанию бухгалтерских операций математическими уравнениями, открывается возможность построения в общепринятых в теории систем терминах математической модели результатов финансово-хозяйственной деятельности предприятия. Её, в отличие от традиционного бухгалтерского учета, можно использовать не только для ретроспективного анализа результатов деятельности предприятия, но и для решения задач перспективного характера: прогноза, планирования и управления.

КРАТКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОДЕРЖАНИЯ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА

Фундаментальная, системная важность данных бухгалтерского учета следует из того, что любое результативное исследование деятельности конкретного предприятия, независимо от вида и цели, фактически может осуществляться только на данных его бухгалтерского учета, в которых находят объективное и однозначное отражение все принятые в ретроспективе управленческие решения и полученный в итоге результат. Анализ задач, решаемых в менеджменте, маркетинге и управлении финансами и производством, показывает, что все они базируются на данных бухгалтерского учета, отражающих состояние предприятия, и данных, отражающих прогнозируемое состояние рынка. В конечном итоге все задачи, решаемые предприятием, направлены на получение прибыли, на увеличение его активов.

Известно, что словесное (вербальное) описание не является однозначным и минимальным. Чтобы получить исчерпывающие сведения об операциях, операндах и их свойствах, необходимы формулы, однозначно и полно отражающие технологию выполнения бухгалтерских операций и получения характеристик. Бухгалтерский учет, его операции здесь затрагиваются в объеме, минимально необходимом для пояснения аналитической модели финансово-хозяйственной деятельности хозяйствующего субъекта и её соотношения с его бухгалтерским учетом. По этой же причине основной упор делается на разъяснение формально-математических аспектов, включая обозначения, которые не являются традиционными для литературы по бухгалтерскому учету, менеджменту, финансовому анализу и управлению и т. п.

ФОРМАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА

Операции бухгалтерского учета [2] для целей данной работы переписываются в виде уравнений, отражающих все возможные перемещения ресур-

сов предприятия в денежном выражении. Обозначим через N общее количество счетов, используемых предприятием (оно всегда известно для конкретного предприятия). Занумеруем их в порядке, удобном для последующего использования в системе управления, например, сгруппировав некоторым упрощающим представлением комплексных показателей функционирования предприятия образом. При этом, естественно, устанавливается взаимно однозначное соответствие номеров счетов внутренней бухгалтерии предприятия их аналогам в типовом Плане счетов бухгалтерского учета и Инструкции по его использованию, утвержденными Минфином РФ. Далее для краткости употребляются названия План и Инструкция.

Номера счетов обозначим буквами I и J , которые могут принимать значения из множества натуральных чисел от единицы до N : $I, J \in [1, N]$. Для субсчетов счета I введём дополнительные номера, которые указываются в виде индекса к основному номеру и обозначаются неявно строчными буквами i, j , т. е. I_i или I_j .

Буквы x, y, z, v и w будем использовать для обозначения *переменных*, означающих количество финансовых средств на счетах или различных их комбинациях. Эти переменные могут принимать произвольные значения из множества положительных действительных чисел. Буквы a, b, c, d и g будем использовать для обозначения *фиксированных значений*, которые принимают *переменные*. Финансовые средства измеряются в денежных единицах.

Бухгалтерия оперирует с ретроспективной информацией, т. е. фиксирует результат состоявшихся операций, когда все суммы средств известны. В введенных обозначениях им соответствуют значения a, b, c, d и g .

Количество финансовых средств на счете J обозначается буквой a с индексом J . Стандарт бухгалтерского учета устанавливает двойную запись результатов хозяйственных операций — по дебету и кредиту соответствующих счетов. При этом всегда должны быть сделаны две записи: по кредиту одного счета и по дебету другого. Для простоты и наглядности номер счета J по кредиту будем указывать нижним индексом, а по дебету — верхним, т. е. a_j — обозначает сумму по кредиту J -го счета, а a^J — сумму по дебету J -го счета. Если сумма связана с двумя счетами, то будем указывать оба индекса — и по кредиту и по дебету.

С учетом принятых обозначений факт выполненной проводки записывается в виде

$$a_I = a^J, \quad (1)$$

где I и J — номера корреспондирующих счетов, по которым осуществлена проводка.



Конкретный I -й счет корреспондирует по дебету с кредитом некоторого подмножества счетов Плана и аналогично по кредиту с дебетом подмножества счетов Плана. Назовем корреспонденцию корреспонденцией с соподчиненностью, если сумма, записываемая по одному счету, является следствием суммы, записанной по другому счету: НДС – следствие выручки, налог на прибыль – следствие прибыли, пеня – суммы просроченного платежа и т. п. Формально разрешенные корреспонденции обозначаются так:

$$\delta_I^J = \begin{cases} 1, & \text{если счета } I \text{ и } J \text{ корреспондируют} \\ & \text{без соподчиненности,} \\ \lambda, & \text{если счета корреспондируют} \\ & \text{с соподчиненностью,} \\ 0, & \text{если счет } I \text{ не корреспондирует} \\ & \text{со счетом } J, \end{cases} \quad (2)$$

где $\lambda \leq 1$ обозначает ставку НДС, налога на прибыль, пеню и т. п.

Для отражения корреспонденций счета I по кредиту соберем все символы δ_I^J , имеющие одинаковый нижний индекс I , в вектор δ_I . Для отражения корреспонденций счета I по дебету с кредитами всех других счетов соберем символы δ_I^J с верхним индексом I в вектор δ^I .

При вычислении оборотов и сальдо (и, в дальнейшем, записи уравнений для оборотов и сальдо) приходится суммировать по всем корреспондирующим счетам. Оборот по дебету J -го счета можно записать в виде

$$b^J = \sum_I \delta_I^J a_I^J, \quad J \in [1, N]; \quad (3, a)$$

аналогично, оборот по кредиту счета J

$$b^J = \sum_I \delta_I^J a_I^J, \quad J \in [1, N]. \quad (3, б)$$

Значения сальдо по активному счету c^J и по пассивному счету c_J определяются в виде

$$c^J = c_0^J + b^J - b_J, \quad (4, a)$$

$$c_J = c_0^J + b_J - b^J, \quad J = 1, 2, \dots, N, \quad (4, б)$$

где c_0^J – начальное сальдо J -го счета.

Дебетовое сальдо по всем счетам определяется суммированием (4, а) по всем $J \in [1, N]$, т. е.

$$c^{\Delta} = \sum_{J \in [1, N]} c^J, \quad (5, a)$$

кредитовое – аналогичным суммированием (4, б):

$$c_K = \sum_{J \in [1, N]} c_J. \quad (5, б)$$

Наконец, баланс записывается в виде

$$\sum_{J \in [1, N]} c^J = \sum_{J \in [1, N]} c_J \text{ или } c^{\Delta} = c_K. \quad (6)$$

Формулы для записи оборотов, сальдо и баланса в несколько ином виде приведены в работе [3]. Кроме перечисленных операций при исчислении налогов, платежей в фонды, за кредиты и т. п., их значения определяются как производные от некоторых сумм на счетах в виде:

$$a_J = \lambda a^J, \quad (7)$$

где λ определяет, например, ставку НДС (a^J – объем продаж), налог с прибыли (a^J – объем прибыли) и т. п.

Формулы (1) – (7) описывают получение всех характеристик в бухгалтерском учете. Они не являются математической моделью, позволяющей в замкнутом виде сформулировать задачи управления организацией, но дают однозначное и полное представление обо всех объектах и математических операциях, используемых в бухгалтерском учете.

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ ФИНАНСОВО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

Математическое описание объекта служит фундаментом для решения разнообразных задач анализа и управления. Оно должно формально отражать причинно-следственные связи в объекте и позволять по предполагаемым входным воздействиям (начальным условиям) прогнозировать значения выходных величин. Это дает возможность исследовать влияние входов на выходы. Такое исследование (без детализации целей) обычно включает в себя этапы:

1) вычисления значений выходных величин и (или) заданных на них характеристик при различных вариантах сочетаний входных воздействий (начальных условий);

2) сравнение (упорядочение) полученных вариантов решений по некоторому критерию и выбор лучшего из них.

Реализация вычислений требует формального описания или модели объекта. Первый этап позволяет реализовать любую формальную модель, записанная в виде каких-либо формул, с помощью которых выходные величины выражаются через входные величины. Проблема в том, что в обычном случае возможных вариантов сочетаний входных воздействий весьма много, и перебрать их все «вручную» не представляется возможным. Поэтому важно автоматизировать второй этап, часто именуемый процедурой принятия решения.

Анализ формул (1)–(7) позволяет полностью охарактеризовать объекты, операции и их свойства в бухгалтерском учете. Объектами являются:

- величины a_J, a^J, b_J, \dots – суммы денежных средств, которые являются действительными, положительными числами и могут быть объединены в векторы x, y, \dots ;
- величины типа δ, λ – коэффициенты, на которые умножаются величины a_J, a^J, b_J, \dots и которые по своим значениям не превосходят единицы.

Других объектов нет.

В формулах (1)–(7) используются две математические операции: величины a_J, a^J, b_J, \dots могут суммироваться и умножаться на скалярные коэффициенты δ и λ . Для используемых операций выполняются свойства: 1) $\lambda(x + y) = \lambda x + \lambda y$; 2) $(\lambda + \mu)x = \lambda x + \mu x$; 3) $\lambda(\mu x) = (\lambda\mu)x$; 4) $1 \cdot x = x$, где x и y – векторы, составленные из величин a_J, a^J, b_J, \dots , выражаемых в денежных единицах; λ, μ и 1 – коэффициенты (ставки налогов, процентные ставки, пеня и т. п.) – вещественные числа.

Это дает основания с математической точки зрения [4, 5] трактовать векторы x, y , как элементы векторного пространства над полем вещественных чисел и сформулировать следующую теорему.

Теорема 1. *Над полем бухгалтерского учета может быть построено векторное пространство, позволяющее однозначно в виде системы линейных уравнений отобразить финансово-хозяйственную деятельность хозяйствующего субъекта.*

Доказательство следует непосредственно из соответствия объектов и операций, используемых в бухгалтерском учете, объектам и операциям, определенным для модели векторного пространства над полем вещественных чисел, и из того, что операции бухгалтерского учета обладают свойствами 1–4, которые определяют и векторное пространство.

Из теоремы следует, что могут быть записаны не только формулы (1)–(7), но и система уравнений, связывающая все переменные, фигурирующие в бухгалтерском учете. Различные критерии эффективности деятельности предприятия, используемые в менеджменте, финансовом анализе и т. п., представляют собой суперпозицию показателей, взятых из бухгалтерского учета.

Теорема 2. *Критерии, характеризующие эффективность, и условия, регламентирующие деятельность предприятия, могут быть записаны в виде линейных функций от данных бухгалтерского учета.*

Доказательство следует из того, что если допустить противное, то в результате решения могут быть получены переменные в степени, отличной от первой. Но это невозможно, так как переменные выражаются в денежных единицах и нельзя

представить математическую функцию от денежной единицы, например, рубль в квадрате, синус тугрика или доллар в степени $1/2$.

Следствие. *В рамках линейной алгебры могут быть корректно поставлены задачи управления хозяйствующим субъектом, допускающие их решение современными математическими методами.*

Представляется целесообразным акцентировать внимание на разнице между формулами – инструментом констатации свершившихся фактов и уравнениями – инструментом прогнозирования будущих результатов и решения задач оптимального управления для организации: оптимальных планов производства, рациональной структуры запасов, резервов ресурсов, оценки эффективности инвестиций и т. п.

Уравнения, связывающие в единую систему различные платежи, различные суммы на разных счетах, позволяют построить универсальную модель финансово-хозяйственной деятельности хозяйствующего субъекта. Модель финансово-хозяйственной деятельности предприятия над полем бухгалтерского учета в соответствии с теоремой 1 получается заменой формул (1)–(7) адекватными им уравнениями. Для этого вместо фиксированных величин a, b, c, d и g следует использовать переменные x, y, v, z и w , значения которых заранее неизвестны и находятся в результате решения задачи с учетом этих систем уравнений.

Записав все возможные для счетов Плана проводки, получим систему уравнений, которая увязывает каждую сумму через все разрешенные хозяйственные операции с суммами средств на всех счетах организации. Эти уравнения имеют одинаковую структуру, следующую из структуры векторов символов δ^J и δ_J , описывающих схемы проводок:

$$x^J = \delta^J x_J, \quad J = 1, 2, \dots, N, \quad (8, \text{а})$$

$$x_J = \delta_J^I x^I, \quad J = 1, 2, \dots, N. \quad (8, \text{б})$$

Вместо формул (3) получим уравнения для оборотов по счетам:

$$y^J = \sum_{I=1}^N \delta_I^J x^I, \quad J = 1, 2, \dots, N, \quad (9, \text{а})$$

$$y_J = \sum_{I=1}^N \delta_J^I x^I, \quad J = 1, 2, \dots, N. \quad (9, \text{б})$$

Уравнения (8) описывают проводки – возможную взаимосвязь между хозяйственными операциями или разрешенную систему потоков движения финансовых средств в финансовой структуре хозяйствующего субъекта и при взаимодействии субъекта с внешним миром. Этим уравнениям много. Так как на любой счет средства могут поступать и с него списываться, то он будет иметь, по край-



ней мере, одну проводку по дебету и кредиту, следовательно, уравнений каждого вида – и (8, а), и (8, б) – будет не меньше числа счетов N . Для нашего подхода не существенно их общее число – важно, что из их структуры следует выражаемое через N соотношение между числом переменных x_j , x^j и числом уравнений, которые связывают эти переменные.

Переменные x_I^J и x_J^I , $I, J \in [1, N]$, связаны не только уравнениями проводок (8) и оборотов (9), но и уравнениями сальдо, которые принимают вид

$$v^J = v_0^J + \sum_I \delta_I^J x_I^J - \sum_I \delta_I^J x_J^I, \quad J \in [1, N], \quad (10, а)$$

$$v_J = v_{J0} + \sum_I \delta_I^J x_I^J - \sum_I \delta_I^J x_J^I, \quad J \in [1, N]. \quad (10, б)$$

Заметим, что в общем случае будет N уравнений (10, а) и (10, б), так как сальдо записывается либо по дебету, либо по кредиту счета. В правых частях этих уравнений будет по две суммы из переменных x_I и x^I , для которых $\delta_I^J = \delta_J^I = 1$.

Принципиальная разница между формулами (4) и уравнениями (10) состоит в том, что в формулы (4) подставляются известные заранее значения a_j , по которым однозначно вычисляются значения b_j .

В уравнениях (10) величины x_I и x^I являются переменными, значения их заранее неизвестны, и задача состоит в отыскании таких значений этих переменных, которые удовлетворяли бы всем уравнениям системы (10) и, возможно, некоторым дополнительным условиям.

Из сальдо по всем счетам получается уравнение баланса

$$\sum_J v^J = \sum_J v_J \quad (11, а)$$

или, более подробно,

$$\begin{aligned} \sum_J \left(v_0^J + \sum_I \delta_I^J x_I^J - \sum_I \delta_I^J x_J^I \right) = \\ = \sum_I \left(v_{J0} + \sum_I \delta_I^J x_I^J - \sum_I \delta_I^J x_J^I \right). \end{aligned} \quad (11, б)$$

Подчеркнем, что выражение (11) действительно уравнение в математическом смысле этого слова. Оно связывает переменные и одни ставит в зависимость от других. Естественно, что оно используется в общей системе уравнений, моделирующих финансовую деятельность организации, и его выполнение обеспечивает определение только таких решений (совокупностей значений переменных x^I и x_I), которые удовлетворяют и уравнению (11).

Таким образом, получена следующая система линейных уравнений [6]:

$$y^J = \sum_{I=1}^N \delta_I^J x_I^J, \quad J = 1, 2, \dots, N, \quad (12, а)$$

$$y_J = \sum_{I=1}^N \delta_I^J x_I^J, \quad J = 1, 2, \dots, N. \quad (12, б)$$

$$v^J = v_0^J + \sum_I \delta_I^J x_I^J - \sum_I \delta_I^J x_J^I, \quad J \in [1, N], \quad (12, в)$$

$$v_J = v_{J0} + \sum_I \delta_I^J x_I^J - \sum_I \delta_I^J x_J^I, \quad J \in [1, N]. \quad (12, г)$$

$$\begin{aligned} \sum_J \left(v_0^J + \sum_I \delta_I^J x_I^J - \sum_I \delta_I^J x_J^I \right) = \\ = \sum_I \left(v_{J0} + \sum_I \delta_I^J x_I^J - \sum_I \delta_I^J x_J^I \right). \end{aligned} \quad (12, д)$$

Система уравнений (12) формально в полном объеме описывает все связи, существующие в бухгалтерском учете, все разрешенные финансовые операции и все возможные потоки финансовых средств внутри субъекта и на его входах-выходах. Число уравнений в системе (12) более, чем в три раза превышает число переменных, поэтому часть уравнений можно не использовать. Например, в международной системе бухгалтерского учета [2] не выделяются дебетовый и кредитовый обороты, поэтому уравнения (12, а) и (12, б) можно опустить. Кроме выписанных в системе (12) уравнений, имеются проводки (8), которые связывают переменные по дебету и кредиту, и общее число независимых переменных сокращается в два раза. Возможны и иные варианты в зависимости от задач, которые предполагается решать с помощью модели.

Важно, что система уравнений (12) в аналитическом виде отображает все связи между переменными бухгалтерского учета, т. е. всю финансовую структуру хозяйствующего субъекта, и поэтому может служить реальным фундаментом для синтеза процедур принятия управленческих решений.

МЕТОДОЛОГИЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЗАДАЧ АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ

Уравнения системы (12) позволяют описать самые различные задачи анализа результатов деятельности предприятия, формирования идеологии и синтеза оптимального управления. Можно выделить следующие важные классы задач:

- традиционного бухгалтерского учета;
- исследования внутренних резервов повышения эффективности хозяйствования;
- финансового анализа;
- формирования идеологии и принципов учетной политики;

- объемного и календарного планирования;
- оптимального управления:
 - производственным процессом;
 - запасами различных ресурсов;
 - инвестициями.

Собственно уравнения (12) не определяют значений сумм финансовых средств x_J на счетах $I = 1, 2, \dots, N$, они лишь гарантируют, что суммы на счетах обязательно будут соответствовать разрешенной схеме корреспонденций, и каждая из них будет находиться в строгом соответствии по отношению ко всем остальным составляющим баланса. Это отвечает месту и роли бухгалтерского учета, который существует не сам по себе, а лишь в связи с финансово-хозяйственными операциями организации, результаты которых он отслеживает.

Система уравнений (12) должна быть адаптирована к условиям конкретного предприятия. При этом останутся лишь те проводки, которые отражают операции, свойственные предприятию. Важно, что адаптация (настройка системы) на данные конкретного предприятия естественна и опирается лишь на данные бухгалтерского учета, фиксируемые любой автоматизированной бухгалтерской системой. В системе (12) уравнений больше, чем переменных. Для отыскания оптимального решения – значений переменных – целесообразно воспользоваться методами линейного программирования.

Теорема 2 и следствие из неё дают основания применять для формализации и решения перечисленных классов задач методы линейного программирования ([7, 8] и др.), в рамках которых разработаны эффективные процедуры отыскания оптимальных решений.

Линейное программирование обладает широким набором инструментов, пригодных для конструирования задач анализа ретроспективных решений, исследования влияния принимаемых решений на конечный результат и синтеза на этой основе перспективных вариантов управления. Модификация задач и адаптация их к особенностям конкретного предприятия обеспечиваются ограничениями, а цели решения отражаются соответствующим критерием или критерием совместно с ограничениями. Ниже даются иллюстрации применения ограничений и критерия для конструирования алгоритмов решения отдельных задач.

Ограничения. В задаче линейного программирования на переменные и произвольные их комбинации могут быть наложены ограничения в виде равенств

$$x_J = a_J, \quad (13, \text{а})$$

$$x_{J_1} + x_{J_2} + \dots + x_{J_q} = a_J, \quad J \in [1, N]. \quad (13, \text{б})$$

Так как a_J – число, то равенство (13, а) означает, что сумма по кредиту на счете J должна быть

фиксированной и равной a_J . Выполнение равенства (13, б) гарантирует, что сумма записей по кредитам счетов J_1, J_2, \dots, J_q будет равна значению a_J .

Ограничения (13) в виде равенств являются «жесткими». Их можно «смягчить», заменив равенствами, определяющими разрешенные диапазоны, в которых должны находиться представляющие интерес суммы средств, т. е.

$$a'_J \leq x_J \leq a''_J, \quad (14, \text{а})$$

$$a'_J \leq x_{J_1} + x_{J_2} + \dots + x_{J_q} \leq a''_J, \\ J, J_1, J_2, \dots \in [1, N], \quad (14, \text{б})$$

где наименьшее a'_J и наибольшее a''_J – разрешенные значения платежа (14, а) или суммы платежей (14, б), которые определяются финансовым состоянием организации. Ограничения типа равенств (13) или неравенств (14) могут быть наложены на любые счета или комбинации счетов по дебету и кредиту. Разумеется, должны соблюдаться правило двойной записи и корреспонденция счетов.

Обороты по отдельным счетам, являющиеся суммой средств, также могут быть ограничены равенствами

$$b_J = \sum_{I=1}^N \delta_I^J x_I^J, \quad J \in [1, N], \quad (15, \text{а})$$

или неравенствами

$$b^{*K} \leq \sum_{I=1}^N \delta_I^K x_I^K \leq b^{**K}, \quad K \in [1, N]. \quad (15, \text{б})$$

Первое из приведенных ограничений гарантирует, что оборот по кредиту счета J будет равен b_J , а выполнение неравенств (15, б) обеспечивает нахождение оборота по дебету счета K в пределах между значениями b^{*K} и b^{**K} . Конечно, значения b_J , b^{*K} и b^{**K} задаются в соответствии с целями управления.

Такие же ограничения могут быть введены на сальдо по некоторым активным и пассивным счетам, т. е.

$$d^J = v_0^J + \sum_I \delta_I^J x_I^J - \sum_I \delta_I^J x_I^J, \quad J \in [1, N], \quad (16, \text{а})$$

$$d'_K \leq v_{K0} + \sum_I \delta_I^K x_I^K - \sum_I \delta_I^K x_I^K \leq d''_K, \\ K \in [1, N]. \quad (16, \text{б})$$

Ограничение (16, а) гарантирует равенство сальдо по J -му активному счету заданному значению d^J , а выполнение неравенств (16, б) обеспечивает нахождение сальдо на K -м пассивном счете в предписанных значениях.

Для ясности добавим к системе ограничений соотношение (12, д) – баланс организации, кото-



рое должно выполняться в любой момент времени. Кроме прочего, оно используется на всех этапах для контроля правильности и постановки, и решения задачи.

Видно, что уже модификация системы ограничений на переменные (объемы хозяйственных операций) и любые их комбинации доставляет широкие возможности для вариации условий в рамках задачи линейного программирования. Конечно, нельзя наложить жесткие ограничения на все переменные и нельзя требовать, чтобы переменные приняли нереальные, выходящие за пределы финансовых возможностей организации значения. Поставленные таким образом задачи не будут решены.

В теории линейного программирования разработаны формальные средства выявления подобных ситуаций и их идентификации. Поэтому в систему, реализующую задачи исследования и принятия решений методами линейного программирования, могут быть встроены средства, автоматически выявляющие некорректную формулировку условий и предлагающие пути их исправления.

С помощью ограничений на переменные и их комбинации определяется область определения задачи, т. е. очерчивается множество возможных, по мнению руководства организации, взаимосвязанных значений распределения средств по счетам (задачам, целям и пр.). В контексте бухгалтерского учета это означает (примерно) прогноз объемов поступления средств по различным каналам (из различных источников – реализация, займы и т. п.) и назначение наиболее целесообразного распределения этих средств по актуальным платежам (расчеты с поставщиками, зарплата, перечисления в бюджет и т. п.). Эти решения, определяющие область определения задачи – прерогатива верхнего уровня руководства организации, которое может сказать, по каким долгам следует платить в первую очередь и где взять эти деньги. Важно подчеркнуть, что практически не существует ситуаций, которые было бы нельзя отразить с помощью инструмента ограничений.

Критерий оптимальности. Кроме ограничений, существуют широкие возможности настройки задачи на конкретные цели с помощью критерия оптимальности, называемого в линейном программировании линейной формой. Он позволяет из бесконечного множества допустимых решений выбрать одно, в наибольшей степени соответствующее поставленной цели.

Для сходимости алгоритмов линейного программирования и достижения оптимальных решений важно, чтобы переменные были положительными (лежали в первом квадранте $2N$ -мерного пространства, где N – число переменных, в нашем случае – число счетов по дебету и кредиту, т. е.

сумма предельных значений верхних и нижних индексов у переменных). В бухгалтерии нет понятия отрицательных денег, и требование положительности всегда выполняется. В этой ситуации критерий может включать в себя требования приближения характеристик финансово-хозяйственной деятельности: оборотов по дебету и кредиту различных счетов, сальдо по некоторым активным и (или) пассивным счетам и других характеристик, построенных на них, к заданным значениям.

Самый простой, иллюстративный вариант состоит в том, что платежи не структурируются, а исполняются с равной долей ответственности. Суммы платежей известны и их фиксированные значения обозначаются начальными буквами латинского алфавита, т. е., например, a_J . Поэтому, предполагая оборотные средства организации ограниченными, может быть принято, что реальные платежи будут по мере возможности приближаться к необходимым платежам.

Отражение такого варианта обеспечивается заданием ограничений по дебету и кредиту в виде:

$$x^J \leq a^J, \quad x_J \leq a_J, \quad J \in [1, N] \quad (17)$$

и одновременным введением в задачу критерия

$$\sum_{J \in [1, N]} x_J \rightarrow \max. \quad (18)$$

В результате будет получено решение, обеспечивающее выполнение всех ограничений (17) и максимально приближающее платежи к заданным значениям. В пределе, если средств достаточно, то будет получено решение $x^J = a^J, x_J = a_J, J \in [1, N]$.

Приоритеты одних обязательств по отношению к другим могут быть отражены введением в критерий (18) весовых коэффициентов.

Комбинацией ограничений и критерия могут быть отражены цели, выражающиеся через обороты по отдельным счетам, комбинации оборотов по группам счетов, через сальдо по счетам и по группам счетов.

В общем случае полученную задачу линейного программирования можно записать кратко в виде:

$$Q = Q\{x_J, x^J, y_J, y^J, v_J, v^J; \alpha_J, \alpha^J, \beta_J, \beta^J, \gamma_J, \gamma^J, J \in [1, N]\} \rightarrow \text{extr}, \quad (19, \text{а})$$

$$x_J \in A_J, \quad x^J \in A^J, \quad y_J(x_J) \in B_J, \quad y^J(x^J) \in B^J, \\ v_J(x_J, x^J) \in D_J, \quad v^J(x_J, x^J) \in D^J, \quad (19, \text{б})$$

где $y_J(x_J), y^J(x^J), v_J(x_J, x^J), v^J(x_J, x^J)$ – простейшие линейные функции от переменных x_J и x^J – сумм денежных средств на счетах предприятия; $\alpha_J, \alpha^J, \beta_J, \beta^J, \gamma_J, \gamma^J$ – весовые коэффициенты; $A_J, A^J, B_J, B^J, D_J, D^J$ – области разрешенных значений пере-

менных, определяемые заданными величинами, которые в ограничениях (14, б), (15, б) и (16, б) обозначены через $a', a'', b', b'', d', d''$ и находятся по данным бухгалтерского учета. Варьируя значения весовых коэффициентов, можно не только изменять приоритеты, но и исключать требования из критерия, т. е. получать частные варианты, соответствующие перечисленным выше задачам. Для этого соответствующие им значения весовых коэффициентов достаточно принять равными нулю. В качестве иллюстрации наметим пути получения алгоритмов решения некоторых обозначенных выше задач.

ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА ДЛЯ РЕШЕНИЯ НЕКОТОРЫХ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Традиционный бухгалтерский учет получается уже на основании формул (1)–(7), в которых необходимо определить для конкретной организации множество счетов и проводок, т. е. задать значения индексов в векторах a^J и a_j . Необходимо также конкретизировать формулы для исчисления налогов и иных производных платежей, указав в них реальные значения коэффициентов λ .

После настройки вводимые из первичных документов данные будут распространяться по системе проводок и обрабатываться по формулам (4)–(7).

Исследования внутренних резервов повышения эффективности хозяйствования может осуществляться ретроспективно по результатам деятельности предприятия в предыдущие периоды и уже имеющимся данным бухгалтерского учета.

Чтобы исследовать влияние на конечный результат различных условий деятельности предприятия, можно воспользоваться подходом, аналогичным применяемому в вариационном исчислении. В данном случае задача состоит в исследовании влияния вариации функций δu или (и) δv на вариацию функционала δQ . В данном контексте функционал δQ может означать прибыль, увеличение активов, снижение кредиторской задолженности и т. п., а функции — это платежи, обороты, сальдо по выбранным счетам. Цель исследования состоит, например, в выяснении вопроса можно ли было улучшить значения представляющих интерес характеристик, включенных в функционал, и, если да, то за счет каких изменений финансовой политики.

В качестве начального приближения можно использовать данные бухгалтерского учета организации за последний отчетный период. Значения соответствующих переменных рассматриваются как номинальные. Обозначим их $a_j^0, a^{0j}, b_j^{0j}, b_j^0$ и т. д. На их основе формируются допустимые диапазо-

ны вариации выбранных переменных и функций, например, следующим образом:

$$\begin{aligned} a_j^j &= [1 - v(a_j^j)] a_j^0, & a_j'' &= [1 + v(a_j'')] a_j^0; \\ b_j^j &= [1 - v(b_j^j)] b_j^0, \\ b_j'' &= (1 + v(b_j'')) b_j^0 \text{ и т. д.,} \end{aligned} \quad (20)$$

где $v(a_j^j), v(a_j'')$, — некоторые меньшие единицы числа, определяющие возможный диапазон варьирования переменных и их линейных комбинаций (сумм, оборотов, сальдо). Они могут быть различными для различных переменных или равными в зависимости от целей исследования.

Значения диапазонов варьирования, полученные по алгоритму (20), подставляются в ограничения задачи линейного программирования (19) и осуществляется её решение. В результате решения будут получены взаимосвязанные значения всех переменных — сумм средств на счетах, оборотов, сальдо, при которых результаты деятельности в предыдущий период в наибольшей степени соответствовали бы выбранной стратегии (19) и ограничениям на ресурсы, заданным с учетом выражений (20).

Изменяя значения весовых коэффициентов в критерии (19, а), можно задавать другие показатели, а вариацией значений v в выражениях (20) можно изменять средства влияния на результат и диапазоны этого влияния. Для каждого варианта сочетаний критерия и разрешенных диапазонов варьирования (20) будет получено оптимальное решение. Сравнив значение критерия для номинального варианта, который был фактически реализован, со значениями критерия для вариантов, синтезированных с помощью выражений (20), можно выяснить, была ли возможность найти решения лучшие, чем реализованные в действительности.

Финансовый анализ. Воспользуемся некоторыми критериями финансового анализа для внешней и внутренней оценок эффективности деятельности организации, которые выражаются через суммы средств на различных счетах организации, т. е. через значения определенных выше переменных и их функций $x_j, x^j, y_j(x_j), y^j(x^j), v_j(x_j, x^j), v^j(x_j, x^j)$.

В анализе состояния организации значительное место занимают показатели платежеспособности и финансовой устойчивости, прибыльности и активности, инвестиционной привлекательности, оценки и восстановления платежеспособности и пр. [9]. Все эти показатели имеют вид коэффициентов, представляющих собой частные от деления сумм средств на одних счетах (например, активов) на суммы средств на других счетах (например, пассивов).

Платежеспособность предприятия определяется коэффициентами текущей, промежуточной и абсолютной ликвидности. Они характеризуют возможность предприятия расплатиться с кредиторами, соответственно, за счет оборотных средств ($B = 1$),



за счет дебиторской задолженности и денежных средств ($B = 2$), за счет денежных средств предприятия ($B = 3$). Все коэффициенты имеют вид дроби, в числителе которой указаны текущие активы, а в знаменателе – краткосрочные пассивы. В обозначениях, используемых в данной работе, все коэффициенты имеют вид:

$$K_B = \frac{\sum_{J \in J_B} c^J}{\sum_{J \in J_K} c_J}, \quad (21)$$

где J_B , $B = 1, 2, 3$ – множества счетов, на которых учитываются соответствующие коэффициенту текущие активы; J_K – множество счетов, учитывающих краткосрочные пассивы.

В числителе дроби (21) стоит дебетовое сальдо по множеству J_B активных счетов, а в знаменателе – кредитовое сальдо по счетам $J \in J_K$. Таким же образом записываются формулы для вычисления коэффициентов оценки платежеспособности, финансовой устойчивости, маневренности, рентабельности и пр.

Для менеджмента большую ценность представляет возможность исследовать влияние управленческих решений на значения показателей в прошлые периоды и определять на их основе такую стратегию управления на будущее, которая приближала бы показатели организации к желаемым значениям. Содержательный экономический смысл этих коэффициентов достаточно прозрачен, поэтому выбрать их предпочтительные для организации значения не составляет особого труда; более того, критические значения некоторых, наиболее важных при оценке «финансового здоровья» организации показателей регламентируются постановлениями Правительства. Технология исследования одинакова для разных показателей, поэтому достаточно проиллюстрировать её на одном, например, показателе (21).

Обозначим предпочтительное значение коэффициента (21) K_B^* . Очевидно, требование к показателю (21) всегда можно записать в виде:

$$K_B \leq K_B^*. \quad (22)$$

Вместо фиксированных значений подставим в правую часть (21) соответствующие переменные модели (12). Объединим формулы (21) и (22) и запишем в строку:

$$\sum_{J \in J_B} v^J \leq K_B^* \left(\sum_{J \in J_K} v_J \right). \quad (23)$$

Подставим сюда v^J и v_J в соответствии с формулами (12, в) и (12, г) и перенесем все слагаемые в правую часть. В результате получаем:

$$0 \leq K_B^* \left\{ \sum_{J \in J_K} (\delta_J^I x^I - \delta_J^I x_I) \right\} - \sum_{J \in J_B} (\delta_J^I x_I - \delta_J^I x^I), \quad (24)$$

где во всех слагаемых в правой части предполагается суммирование по индексу I .

Все три неравенства (22)–(24) равносильны. Они отражают требование (25): фактическое значение показателя K_B не должно превышать заданного значения K_B^* , но теперь это требование наложено на совокупность сумм финансовых средств на счетах, входящих в ограничение (24), которое вводится в условия задачи (19).

Дополним ограничения (24) требованием

$$K_B^* \left\{ \sum_{J \in J_K} (\delta_J^I x^I - \delta_J^I x_I) \right\} - \sum_{J \in J_B} (\delta_J^I x_I - \delta_J^I x^I) \rightarrow \min, \quad (25)$$

при выполнении которого достигается полное отражение принципа выбора управлений, приближающих текущее значение выбранного коэффициента ликвидности к заданному значению. Если в задаче (19) в качестве критерия оптимальности принять требование (25), то будет получено решение, обеспечивающее возможное увеличение активов и одновременно гарантирующее, что текущие активы не превысят увеличенных в K_B^* раз краткосрочных пассивов.

Формирования идеологии и принципов учетной политики. Идеология управления и учетная политика отражаются при формальном описании финансово-хозяйственной деятельности определением приоритетов, которые задаются весовыми коэффициентами. Вернемся к критерию оптимальности (19, а), в котором на равных правах указаны переменные и весовые коэффициенты, которые отражают идеологию управления. С помощью коэффициентов упорядочиваются приоритеты целей хозяйствующего субъекта и находящихся в его распоряжении ресурсов. Когда целей и вариантов использования ресурсов много, то задача их упорядочивания и структуризации не является тривиальной, а её решение может представлять интерес в рамках общей задачи экономического анализа. Разработанное представление результатов финансово-хозяйственной деятельности позволяет подойти к решению и таких задач.

Действительно, пусть все входящие в критерий (19, а) весовые коэффициенты в совокупности нормированы к некоторой величине P , т. е.

$$\sum_{J \in [1, N]} (\alpha^J + \alpha_J + \beta^J + \beta_J + \gamma^J + \gamma_J) = P. \quad (26)$$

Это условие вводится в задачу линейного программирования в качестве ограничения на значения весовых коэффициентов. Кроме (26) в состав

ограничений (19, б) вводятся условия положительности весовых коэффициентов:

$$\alpha^J, \dots, \gamma_J \geq 0. \quad (27)$$

При наличии некоторых предварительных соображений у руководства организации о приоритетах целей могут быть записаны ограничения на значения диапазонов для групп отдельных коэффициентов в виде

$$\sum_{J \in [1, N]} \alpha^J \leq P^\alpha, \quad (28)$$

$$\sum_{J \in [1, N]} \alpha^J \leq P_\alpha, \quad (29)$$

$$\sum_{J \in J^\alpha} \alpha^J + \sum_{J \in J_\gamma} \gamma_J \leq P_\gamma^\alpha, \quad J^\alpha, J_\gamma \subseteq [1, N], \quad (30)$$

при условии

$$P^\alpha + P_\alpha + \dots + P_\gamma^\alpha = P. \quad (31)$$

Кроме ограничений (26)–(30) на значения коэффициентов в некоторых совокупностях, для отдельных коэффициентов могут быть записаны требования вида (15, а) или (16, а), обеспечивающие придание им заданных значений, а также требования, чтобы в заданной паре только один коэффициент был ненулевым.

Теперь постановка задачи линейного программирования (19) может быть изменена. Величинам, которые ранее были переменными, присваиваются значения, полученные ими в предыдущем периоде хозяйствования. Выше они были обозначены $a_0^J, a_{0J}, b_0^J, b_{0J}, d_0^J, d_{0J}$. Подстановкой этих значений вместо соответствующих им переменных x, y и v во все уравнения (связи) переменные переводятся в разряд параметров. А коэффициенты α, β и γ становятся переменными, вариацией значений которых обеспечивается экстремальное значение критерия Q . Область их определения задается условиями (27)–(31).

В этом случае решением задачи (19) будут значения α^*, β^* и γ^* весовых коэффициентов, при которых $Q(\alpha^*, \beta^*, \gamma^*) = Q^*$, где Q^* – экстремальное значение критерия. Соотношение весовых коэффициентов, полученное в результате решения сформулированной задачи линейного программирования, характеризует степень влияния отдельных показателей, входящих в критерий, на его значение. Подобное исследование не лишено смысла для столь многосвязной задачи, каковой является синтез оптимального управления организацией.

Приведенные примеры требований не охватывают всех возможных вариантов, а лишь иллюстрируют

открывающиеся перспективы автоматизации процедур принятия решения в задаче исследования приоритетов и структуризации целей при управлении хозяйствующим субъектом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Бухгалтерский учет предприятия, естественно, существует не сам по себе, а только в связи с деятельностью предприятия, и в общей структуре управления предприятием должно быть представлено описание реальных задач планирования и управления ресурсами. Представленное математическое описание финансово-хозяйственной деятельности над полем бухгалтерского учета позволяет задачи управления производством связать с реальными финансовыми возможностями организации. Большая часть подобных задач управления и календарного планирования опирается на процессы, происходящие во времени, и требует в качестве основы динамическую модель эволюции предприятия. Эволюция предприятия наиболее объективно может быть отражена динамической моделью его финансово-хозяйственной деятельности, которая получается введением времени в модель, представленную в данной статье. Однако это является предметом отдельного рассмотрения, равно как и более детальное изложение методики решения частных задач, затронутых здесь в качестве иллюстрации возможностей предлагаемой методологии.

ЛИТЕРАТУРА

1. 7 нот менеджмента. – М.: ЗАО «Журнал Эксперт»: ООО «Изд-во ЭКСМО», 2002. – 656 с.
2. Астахов В. П. Теория бухгалтерского учета. – Ростов н/Д: Изд. центр «МарТ», 2002. – 448 с.
3. Кузнецов Л. А., Глизуцин В. Е., Глизуцина Е. С. Введение бухгалтерской информации в задачи оперативного управления организацией // Датчики и системы. – 2000. № 10. – С. 71–76.
4. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. – М.: Наука, 1988. – 552 с.
5. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1970. – 720 с.
6. Кузнецов Л. А. Теоретические основы системного менеджмента // Сб. науч. тр. междунар. конф. «Современные сложные системы управления». – Воронеж, 2003. – С. 25–30.
7. Юдин Д. Б., Гольштейн Е. Г. Линейное программирование. – М.: Физматгиз, 1963.
8. Исследование операций: В 2 т.: пер. с англ./ Под ред. Дж. М о у д е р а, С. Э л м а г р а б и. – М.: Мир, 1981. Т. 1. – 712 с. Т. 2. – 677 с.
9. Кузин Б. И., Юрьев В. Н., Шахдинаров Г. М. Методы и модели управления фирмой. – СПб.: Питер, 2001. – 432 с.

☎ (0742) 32-80-44

E-mail: kuznetsov@stu.lipetsk.ru





ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС «ПЕРСОНА» КАК СРЕДСТВО АНАЛИЗА И УПРАВЛЕНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМ КАПИТАЛОМ ПРЕДПРИЯТИЙ¹

Г.А. Реймаров, Р.К. Грицук, В.В. Ионов

Франко-российский институт делового администрирования, г. Обнинск

Рассмотрены основные особенности, функциональная структура и информационная база программно-методической системы «Персона», предназначенной для оценки деятельности участников производственного процесса. Уделено внимание анализу экспертных данных и результатов контроля знаний. Приведены примеры применения системы на предприятиях энергетики и атомной промышленности.

ВВЕДЕНИЕ

Успешность решения экономических задач, от которых зависит будущее России, в конечном счете, будет определяться тем, насколько удастся активизировать и использовать имеющийся кадровый резерв. Первоочередная задача состоит в управлении качеством труда, переходе от пассивного сопровождения деятельности работников к активному воздействию, побуждению к развитию и эффективному труду. Управление персоналом, при котором высшими приоритетами являются рост профессионализма, эффективности и качества труда, невозможно без обратной связи — оценки деятельности каждого участника производственного процесса. Оценка деятельности как процедура определения количественных характеристик соответствия работников требованиям рабочих мест (должностей) необходима для решения важнейших кадровых задач:

- формирование и подготовка резерва руководителей;
- аттестация и сертификация работников;
- дифференциация оплаты труда, поощрение наиболее успешных работников;
- определение успешности прохождения работником испытательного срока;

¹ Статья рекомендована к печати Программным комитетом Второй международной конференции по проблемам управления (Москва, 2003 г.).

- перемещение с одной должности на другую, повышение категории;
- планирование карьерного роста;
- выявление насущных задач управления отдельными коллективами;
- определение актуальных проблем совершенствования технологического управления;
- выявление кандидатов на сокращение, понижение в должности;
- уточнение программ производственного обучения и повышения квалификации.

В отличие от аттестации, процедура оценки не нормирована и выполняется по необходимости как для обоснования текущих кадровых решений, так и для периодической (ежегодной) оценки кадрового потенциала предприятия, анализа его динамики.

При разработке программно-методического комплекса (системы) «Персона» [1–4] мы исходили из того, что основным средством измерения успешности деятельности может быть только эксперт — коллега оцениваемого лица. Этот вывод основывается на результатах исследований, выполненных нами в период с 1989 по 1995 г. С помощью специализированного комплекса программ СТРЕП сопоставлялись представительные данные психологического тестирования и экспертной оценки успешности деятельности персонала Курской АЭС и экипажей атомных подводных лодок. Расчеты показали, что ошибка прогноза успешности профессиональной деятельности с помощью батарей традиционных психологических тестов не может быть ниже 30% [2]. Американские и британ-

ские специалисты по кадровому менеджменту пришли к такому же выводу и к схожей экспертной технологии оценки персонала [2]. Снижение роли психологического тестирования в их странах диктовалось не только выявленными ошибками, но и судебными разбирательствами по поводу нарушений прав личности.

Перечислим основные особенности системы «Персона».

- Обширная информационная база, содержащая более 11 тыс. формулировок, среди которых 90% специфичны: описывают знания, умения, навыки и конкретные операции на отдельных рабочих местах.
- Тестовый контроль знаний с помощью контрольных вопросов для непосредственной оценки компетентности оцениваемых лиц.
- Применение клиент-серверной технологии и Интернет. Пользователи взаимодействуют в системе, находясь на своих рабочих местах (в том числе – на рабочих местах, расположенных на большом удалении).
- Применение достаточно мощных процедур статистического анализа для повышения точности оценивания, оптимизации структуры словарей-опросников, анализа сходства-различия функций, выполняемых на отдельных рабочих местах.
- Разграничение доступа и защита базы данных от несанкционированного доступа. Все эксперты выступают под шифрами; информация о том, какой эксперт ввел те или иные данные, доступна только Администратору системы.
- Программная реализация системы обеспечивает простой и удобный интерфейс.
- Кроме подробного руководства пользователя, к системе прилагается комплект методик, позволяющих эффективно использовать все возможности системы.
- В качестве выходных документов в системе выдаются:
 - протокол экспертного оценивания, содержащий экспертные данные, результаты их статистического анализа и результаты расчетов системы рейтингов;
 - протокол контроля знаний, содержащий результаты ответов на контрольные вопросы и рейтинг контроля знаний;
 - текст характеристики оцениваемого из 15–25 фраз с общими выводами, значениями рейтинга экспертной оценки, рейтинга контроля знаний, обобщенного рейтинга;
 - секторные и лучевые диаграммы выраженности признаков для оцениваемых лиц;
 - секторные и лучевые диаграммы рейтингов, полученных для отдельных должностей;
 - итоговые таблицы, списки, графики, диаграммы, статистические характеристики распре-

делений рейтингов по подразделениям и предприятию в целом;

- таблицы структуры словарей, используемых при оценивании;
- словари портретных признаков.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СТРУКТУРА СИСТЕМЫ «ПЕРСОНА»

В системе «Персона» (рис. 1) обеспечивается учет основных данных по персоналу. Система спроектирована таким образом, что любая организационная структура, включающая в себя неограниченное количество уровней иерархии подразделений, может быть реализована в базе данных системы.

Подсистема оценки персонала имеет широкий спектр функций, обеспечивающих самодостаточность системы – в лучшем смысле этого слова. Описание важнейших особенностей системы дается ниже.

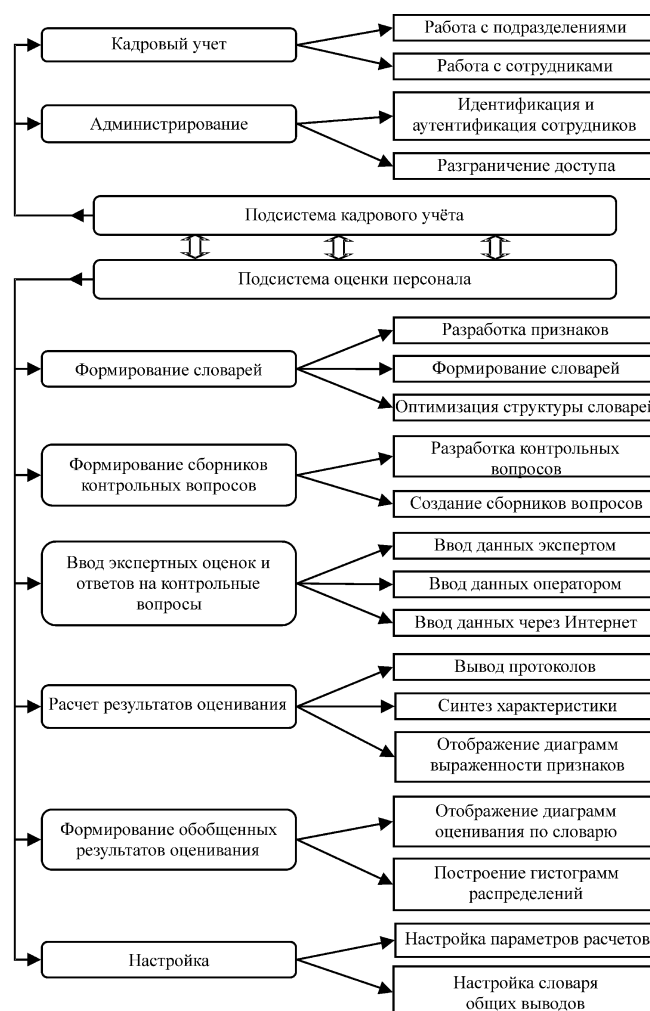


Рис. 1. Функциональная структура автоматизированной системы оценки персонала



ИНФОРМАЦИОННАЯ БАЗА СИСТЕМЫ «ПЕРСОНА»

Структура информационной базы системы отражена в таблице. Основным элементом базы – портретный признак. Каждый портретный признак шкалирован, т. е. конструируется в виде набора из шести формулировок, располагающихся в порядке убывания или возрастания степени выраженности описываемого качества (рис. 2). Это дает возможность в дальнейшем вести обработку экспертных данных с помощью количественных методов. Портретные признаки объединены в четыре группы (см. таблицу). Если первые две группы отражают специфику конкретных производств, то две последние – универсальны. При этом в группе личностных качеств основной акцент сделан на описание производственного поведения и коммуникативных способностей. В четвертую группу включены качества, присущие современному руководителю. База портретных признаков постоянно совершенствуется на основании анализа положений о подразделениях, должностных инструкций, методических и нормативных документов, публикаций по кадровому менеджменту и соответствующим отраслям знаний [3]. Формулировки портретных признаков тщательно шлифуются, поскольку они являются заготовками фраз, включаемых в текст характеристик оцениваемых лиц. Наиболее полное описание специфики деятельности персонала выполнено для предприятий атомной и традиционной энергетики, приборостроения, некоторых организаций.

Чтобы оценить деятельность работника, выполняющего конкретные производственные функции, из базового словаря предприятия в логический словарь должности (рабочего места) отбираются 50–70 специфических признаков. Общее число логических словарей на крупном предприятии (например, в АО-энерго) – около 200. Признаки, входящие в логический словарь, неравнозначны. Для каждого работника настраиваются веса признаков в диапазоне 0...1 в зависимости от важности признака для успешной деятельности именно этого работника.

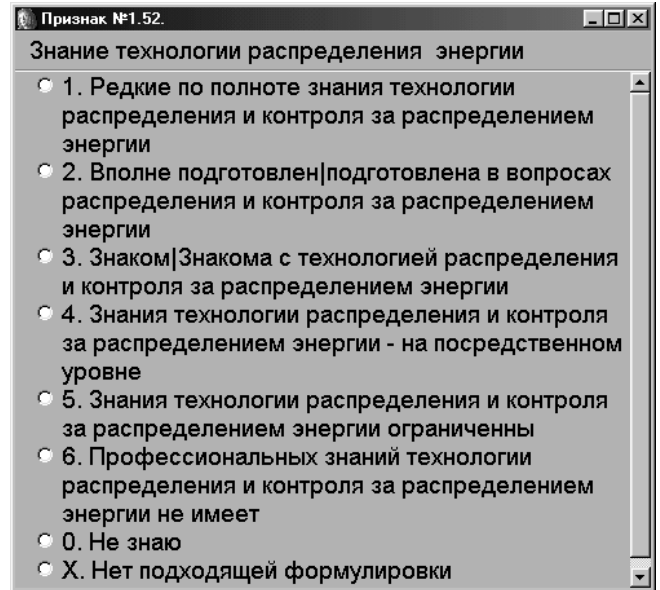


Рис. 2. Пример портретного признака

Совершенствование базы признаков привело к тому, что с 2002 г. отдельные логические словари системы стали превосходить должностные инструкции предприятий по содержательности и точности определений.

Формирование множества логических словарей – трудоемкая процедура. Авторами разработана специальная технология, благодаря которой удастся не только автоматизировать отбор признаков, но и обеспечить среднюю общность (сходство) логических словарей на уровне 10–15%. Таким образом, описание деятельности на каждом рабочем месте ведется на языке соответствующей профессии. В этом принципиальное отличие разработанной технологии от оценок компетенций, тем более от описаний, получаемых в результате психологического тестирования.

Эксперты (сам оцениваемый и 5–7 его коллег) в процессе опроса отмечают номера формулировок признаков, которые, по их мнению, наиболее точно характеризуют оцениваемого. Возможно

Структура информационной базы системы «Персона» (по состоянию на май 2003 г.)

Тип словаря	Всего признаков	Число признаков по группам			
		1. Знания, умения, навыки	2. Качество и эффективность деятельности	3. Личностные качества	4. Качества руководителя
Супербазовый словарь	1864	673	1071	69	51
Базовый словарь предприятия	1000–1300	400–500	500–700	69	51
Логический словарь руководителя	60–70	20–35	15–40	8–10	7–13
Логический словарь специалиста	50–65	15–25	25–35	8–10	0

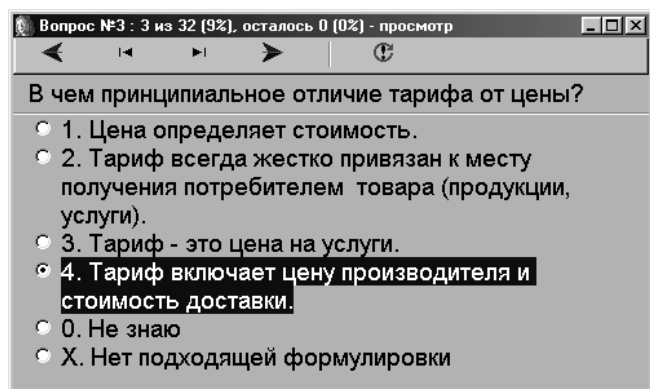


Рис. 3. Пример контрольного вопроса для работников энергосбыта

также использование меток «0» («Не знаю») и «X» («Нет подходящей формулировки»), которые при анализе отождествляются с пропусками данных.

Кроме того, оцениваемый работник отвечает на контрольные вопросы по профилю своей деятельности. На рис. 3 представлен контрольный вопрос из сборника, разработанного специалистами Департамента энергосбыта РАО «ЕЭС России».

АНАЛИЗ ЭКСПЕРТНЫХ ДАННЫХ И РЕЗУЛЬТАТОВ КОНТРОЛЯ ЗНАНИЙ

При анализе данных в первую очередь определяется качество работы каждого эксперта. Расчет систематических и случайных отклонений мнений экспертов позволяет выявить неаккуратных и крайне предвзято настроенных экспертов. Их влияние сводится к минимуму: данным каждого эксперта автоматически присваивается вес, обратно пропорциональный квадрату суммарной ошибки.

Дисперсионный и корреляционный анализы экспертных данных в сочетании с анализом структуры мнений экспертов методом главных компонент дают возможность оценить информированность каждого эксперта и исследовать структуру мнений.

Данные неинформированных экспертов (с коэффициентом множественной корреляции ниже критического уровня) исключаются.

Сложная структура мнений – естественное явление, поскольку позиции экспертов определяются, в первую очередь, их должностным положением. По технологии системы для каждого оцениваемого назначаются эксперты трех должностных уровней: вышестоящие руководители, коллеги равного должностного ранга, подчиненные. Примерно в трех процентах случаев оценки «сверху», «сбоку» и «снизу» неодинаковы. Когда позиции экспертов

значимо расходятся (например, выявляются коалиции критично и комплиментарно настроенных экспертов), изучаются оценки каждой из коалиций, мотивы различий, уточняются решения [4]. При одновременном применении машинного контроля ситуация зачастую разрешается просто: правыми оказываются критично настроенные эксперты, их оценки наилучшим образом согласуются с результатами контроля знаний.

Особого внимания заслуживает процедура расчета итогового рейтинга. Поскольку рейтинги групп признаков отражают разные стороны деятельности, а рейтинг контроля знаний принципиально инороден, аддитивное усреднение некорректно. Рейтинг экспертной оценки рассчитывается по формуле:

$$R_3 = \prod_{i=1}^4 R_i^{v_i},$$

где $v = \sum_{i=1}^4 v_i$; i – номер группы признаков; v_i – вес i -й группы признаков; R_i – рейтинг i -й группы признаков.

Вес v_i зависит от количества признаков в соответствующей группе; возможно введение дополнительных поправок в соотношение весов, учитывающая цели оценивания.

Мультипликативная свертка (агрегирование) групповых рейтингов обеспечивает повышенную чувствительность к малым значениям отдельных рейтингов. Это справедливо: нельзя компенсировать крайне слабые профессиональные знания отдельными личностными качествами и наоборот.

Агрегирование рейтинга экспертной оценки R_3 и рейтинга контроля знаний R_k при расчете итогового рейтинга R_n производится также мультипликативно:

$$R_n = (R_3^{v_3} R_k^{v_k})^s,$$

где $s = \frac{1}{v_3 + v_k}$; v_3 и v_k – веса рейтинга экспертной оценки R_3 и рейтинга контроля знаний R_k , соответственно.

Значения v_3 и v_k в первом приближении равны единице и уточняются при настройке, в зависимости от целей оценивания и качества контрольных вопросов.

Диапазон наблюдаемых значений экспертного рейтинга R_3 на предприятиях атомной и традиционной энергетики – 40...90 единиц по 100-балльной шкале. Распределения R_3 у всех предприятий схожи с нормальным с математическим ожиданием (65 ± 3) ед. и среднеквадратическим рассеянием порядка 6,5 ед.

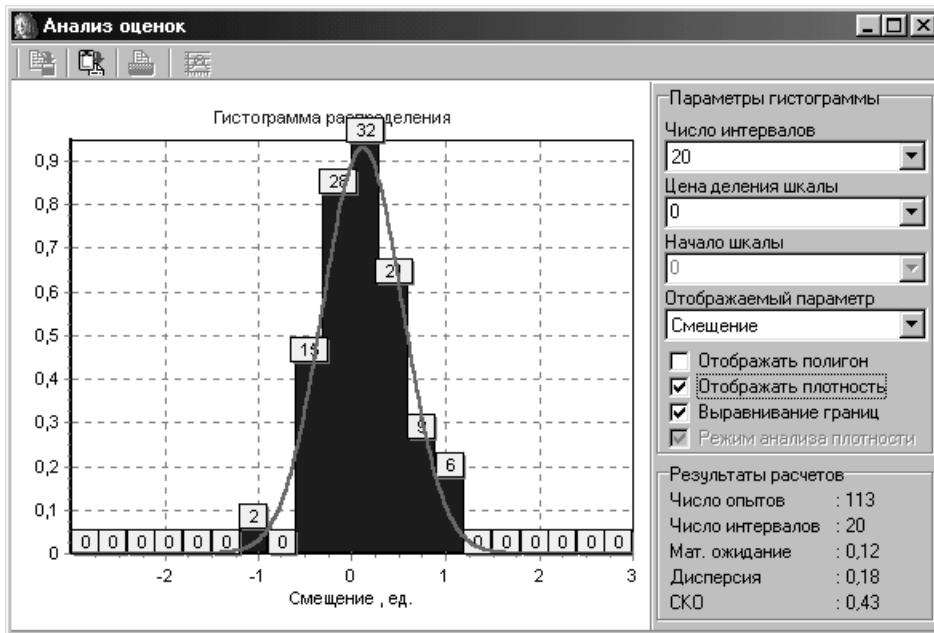


Рис. 4. Типичное распределение систематического смещения самооценки по отношению к среднему мнению всех экспертов (данные по ОАО «Камчатскэнерго»)

фессионализма и качества труда работников.

Представляемые системой данные и свертки параметров по различным группам профессий и подразделениям дают возможность вырабатывать обоснованные кадровые решения, управлять развитием персонала, совершенствовать структуру управления.

Главные достоинства системы: аналитическая направленность и высокая степень приближения к конкретным задачам и требованиям современного производства. Строгая технология анализа мнений экспертов оказалась крайне актуальной при оценке непромышленного персонала (в частности, при оценке 132 руководителей высшего звена концерна «Росэнергоатом»). Перспективно применение системы «Персона» в качестве инструмента кадрового аудита.

Анализ смещений самооценки по отношению к среднему мнению экспертов показал, что в среднем оцениваемые достаточно объективны (рис. 4), небольшое отклонение математического ожидания от нулевого значения вносится теми оцениваемыми, чей рейтинг ниже 60-ти единиц. Такое поведение можно объяснить стремлением аутсайдеров защитить, оправдать себя. Случайная составляющая самооценки, как правило, минимальна (оцениваемый лучше других знает себя), поэтому практически исключены ситуации, когда оцениваемый работник оказывается в числе неинформативных экспертов.

Синтезируемые системой характеристики оцениваемых лиц превосходят обычные рукописные по точности определений и полноте описаний [2–4].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Десятилетний опыт развития и внедрения системы оценки кадров «Персона» на множестве (более 30-ти) предприятий энергетики и атомной промышленности дает нам основание утверждать, что в основе управления персоналом — главным, человеческим капиталом предприятий — должно быть активное воздействие, направленное на рост про-

Наибольший опыт накоплен на Калининской АЭС, где система работает в штатном режиме с 1995 г. Особо отметим опыт применения системы в качестве базового средства управления персоналом на Смоленской АЭС. Среди предприятий РАО «ЕЭС России», на наш взгляд, наиболее эффективно «Персона» используется в ОАО «Камчатскэнерго» и «Оренбургэнерго».

ЛИТЕРАТУРА

1. Reimarov G., Kononov A. A Rating System for Qualification Analysis with Application to Personal Evaluation // APL Quote Quat. — 1994. — Vol. 25. — № 1.
2. Реймаров Г. А. Два подхода к оценке персонала // Управление персоналом. — 1999. — № 4.
3. Реймаров Г. А. Слово — сила. Используйте эту силу эффективно // Управление персоналом. — 2000. — № 8.
4. Реймаров Г. А., Грицук Р. К., Ионов В. В. Оценка промышленного персонала // Кадровик. — 2003. — № 5.

Франко-российский институт делового администрирования, г. Обнинск

☎/📠 (08439) 3-77-31

E-mail: reimarov@fridas.ru



ГЕОИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ОРГАНАХ УПРАВЛЕНИЯ СОЦИАЛЬНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ СФЕРОЙ

С.В. Смирнов, Д.В. Тюкавкин

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

Рассмотрены вопросы разработки геоинформационной системы (ГИС), оказывающей поддержку принятия решений в системе управления социально-образовательной сферой услуг административных округов Москвы. Определён круг задач, решаемых данной системой и принципы их решения. Проанализирован выбор инструментальных средств, рассмотрены структура системы и ее организация в Интернете, приведены некоторые результаты разработки, а также рекомендации по дальнейшему развитию ГИС.

ВВЕДЕНИЕ

В данной статье рассматривается специализированная справочно-советующая геоинформационная система (СГИС), предназначенная обеспечить поддержку принятия решений в органах управления образованием на примере некоторых административных округов Москвы.

Информация об образовании собирается и представляется тремя федеральными ведомствами — Министерством образования, Государственным комитетом по статистике и Министерством финансов [1]. В основном это данные о материально-технических ресурсах, нормируемых по уровням образования. Данные идут снизу вверх: из школы в район или город и далее в регионы и Москву для их анализа и принятия решений. Однако сейчас решения принимаются не только в Москве, но и на уровне регионов, областей и районов. Региональным властям, которые должны финансировать обязательное образование за счет местных налогов, необходимо иметь оперативный и надежный доступ к справочной информации на систематической основе; кроме того, им нужна информация не только по их собственным, но и по другим регионам. Отсутствие надёжной, полной и доступной специализированной справочной информации стало намного более серьезной проблемой, чем в прошлом. Конечно, существует ряд систем, которые могут обеспечивать решение данной проблемы. Это ГИС-модель Москвы и ГИС-модель центральной

части России [2]. Они отвечают требованиям информатизации, однако исключают возможность получения какого-либо совета от системы, например, присущую справочно-советующей ГИС. Рассматриваемая ГИС представляет собой новый вид справочных геоинформационных систем, обладающих функциями систем-советчиков.

Одно из решений проблем упомянутой информационной недостаточности заключается в создании специализированной справочно-советующей ГИС, предназначенной осуществлять помощь в управлении средним образованием. Данная ГИС должна обеспечивать решение следующих основных задач формирования системы образовательных услуг региона (округа, района), требующих при их решении географической привязки к местности:

- мониторинг объектов социально-образовательной сферы;
- мониторинг движения педагогических кадров по районам и округу;
- создание локальной информационной аналитической системы, отвечающей информационным запросам населения;
- оптимизация процесса помещения карт в текстовые отчёты, ориентированные на издательство;
- нахождение оптимального пути от учреждения управления образованием округа до объектов социально-образовательной сферы для целей их инспектирования представителями органов государственной власти;
- составление наикратчайших маршрутов.



ПРИНЦИПЫ РЕШЕНИЯ ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

Основной принцип решения перечисленных задач состоит в выделении в ГИС отдельных слоев, представляющих однородную семантическую информацию [3], важную для решения задач формирования системы образовательных услуг.

Следующий принцип заключается в обеспечении возможности объединения информации, размещенной на нескольких выделенных слоях, на новом (временном) слое, используемом для решения конкретной частной задачи (например: слой, на котором отмечено размещение школ, совмещают со слоем, на котором отмечено размещение заведений по дополнительным видам обучения, и решаются задачи определения среднего времени перемещения школьника от дома до учебного заведения с дополнительным видом обучения).

Алгоритмы решения задач опираются на графовые модели отображения образовательной среды и её геоинформационную привязку. Инструментарием для реализации такой системы служит программа MapInfo, которая предоставляет возможность создавать ГИС, цифровые картографические системы, программные и технические средства формирования и анализа геоинформационных баз данных. Программа проста в эксплуатации и не требует длительного обучения для её наполнения информацией (символьной и текстовой).

Описываемую ГИС можно рассматривать как информационную советующую систему, с помощью которой у аналитиков появляется возможность относительно быстро получать ответы на интересующие их вопросы. Варьируя параметры вопросов, аналитик получает возможность определять тенденции развития, получать зависимости и, в конце концов, сформулировать интересующую его оптимизационную задачу. Несомненно, результаты, полученные при создании ГИС округа, позволяют выделить и сформировать более узко направленные задачи в сравнении с ГИС-моделью Москвы. Для органов окружного управления это будет лучший вариант, так как он будет более детализированным и отвечать интересам, которые сосредоточены именно в их округе. Таким образом, вместо глобальной системы ГИС всей Москвы более удобной системой управления для окружного управления образованием и других сфер округа будет создание именно мобильной и четко определенной под интересы органов местного управления СГИС округа.

Рассмотрим некоторые вопросы разработки системы, а именно: выбор инструментальных программных средств, необходимых для разработки, архитектуру СГИС и краткую схему организации доступа к данным системы в Интернете.

ВЫБОР ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ

На рынке инструментальных программ наиболее популярны графические системы CAD, Mapping и GIS.

CAD – это системы автоматизированного проектирования с применением средств машинной графики [4]. Данные системы предназначены для работы лишь с техническими чертежами и обеспечения автоматизации выпуска конструкторской документации на изделие.

Mapping-системы – специальные средства, предназначенные для создания карт. Они позволяют создавать стандартные карты при хорошем качестве изображения, однако лишены средств моделирования и анализа тематической информации и потому не могут справиться с тематическим картографированием, управленческими задачами и мониторингом. Понятно, что инструментальные средства Mapping-системы не могут быть привлечены для создания СГИС, предназначенной для оказания помощи при принятии управленческих решений.

GIS (геоинформационные системы) – это специальные инструментальные средства, дающие возможность анализа данных, на основании которых строится новая карта и создаются базы географических данных. Они позволяют управлять данными в течение длительного времени, а также имеют возможность моделирования и анализа графических и тематических данных, что отвечает нашим требованиям к инструментальным средствам построения СГИС.

Большинство инструментальных GIS позволяют решать следующие задачи: цифрование карт, преобразование данных из одного формата в другой, создание реляционных баз данных, совмещение тематических слоёв в один, диалог с пользователем, поиск объектов по их адресам, сбор, хранение, обновление и представление данных.

Современные GIS в зависимости от аппаратного обеспечения и функций делятся на три группы [5].

- *Корпоративные системы*, ориентированные на рабочие станции и сетевую эксплуатацию. Объём обрабатываемой информации в таких системах колоссален. Наиболее распространены среди них GIS фирм INTERGRAPH, GDS, SYSSCAN, ESRI.
- *Специализированные системы*, также ориентированные на рабочие станции, но они менее мощные, чем корпоративные. Эти системы призваны решать определенные задачи: обработка геодезических данных, цифрование аэрофотоснимков и др. Основное отличие данных систем от корпоративных – в меньших объемах обрабатываемой информации. Яркими представителями

этой группы GIS являются системы GRADIS, FINGIS, GEO/SQL, PROCART, KERNINFO-CAM.

- *Настольные системы*, ориентированные на обычные персональные компьютеры с процессором Intel не ниже 486. Настольные GIS активно применяются в учебных и справочно-информационных целях, для которых, по сути, они и предназначены. Отличие настольных GIS от специализированных – в техническом аппарате, позволяющем обрабатывать меньший объем информации. Однако преимущество настольных GIS перед корпоративными и специализированными системами в их компактности и возможности установки программного обеспечения на обычных компьютерах, а не на мощных рабочих станциях. Настольные GIS помогают решать частные задачи, возникающие в органах государственного управления, к примеру, окружное управление образованием, не прибегая к мощному аппаратному обеспечению.

Для наших целей наиболее приемлема третья из перечисленных групп по следующим причинам:

- возможность разработки и эксплуатации ГИС на обычном персональном компьютере;
- четкое предназначение для учебных и справочно-информационных целей;
- менее широкие функциональные возможности позволяют быстро изучить инструментарий программного средства.

В группе настольных ГИС выделяются иностранные MapInfo, ArcView, WinGIS и отечественные GeoDraw/GeoGraph, «Панорама», «Растр», ArGIS.

Для выбора инструментального средства необходимо проанализировать функциональные возможности наиболее часто применяемых ГИС-программ.

Программный продукт MapInfo фирмы «Mapping Information Systems Corporation» является классической GIS информационно-справочного типа и располагает следующими возможностями [6]:

- просмотр и обработка графического изображения;
- поиск объектов по запросу;
- редактирование картографических символов;
- определение расстояния по карте;
- работа с базами данных;
- создание приложений с помощью MapBasic;
- конвертация файлов, поддерживающих форматы MapInfo;

- подготовка к печати и печать карты;
- экспорт текстового и графического изображений;
- возможность просмотра данных нескольких окон (текстовое, картографическое и графическое);
- простой интерфейс с диалоговыми окнами и выпадающими списками выбора.

Цена этого программного продукта на рынке иностранных GIS не очень высока, и он может быть закуплен даже небольшим государственным учреждением (см. таблицу).

Геоинформационная система WinGIS разработана австрийской фирмой PROGIS. В этой системе реализована идея многократной обработки векторных, растровых и табличных данных с применением системы Windows фирмы «Microsoft». Преимущества системы заключаются в простоте и удобстве пользования, применении концепции многослойного построения изображений, объединении возможностей работы с векторными и растровыми объектами одновременно. По сравнению с другими GIS система WinGIS отличается универсальностью своих программных средств, которые могут работать параллельно.

Система содержит мощный генератор отчетов, который обладает функциями современных текстовых процессоров и анализаторов, таблиц и списков, позволяет производить анализ, предполагающий соединение различных полей данных в запросе (функции AND, OR, NOT), и статистический анализ (усреднение, максимум, минимум и т. д.), производить объединение тематических данных с графическими, а также объединение нескольких независимых баз данных в единый проект.

В систему WinGIS включена функция генерализации слоев. При определении параметров генерализации для выбранных слоев при изменении масштаба карты слои автоматически подключают или отключают, что существенно разгружает проект пользователя. Обеспечена полноценная связь со всеми приложениями Windows, прежде всего, с объектами БД (базы данных) типа OLE 2.0. Теперь пользователь может внести в БД любую информацию, описывающую любой графический объект WinGIS (точка, линия, площадь, текст и т. д.) – от документа, составленного с помощью редактора MS-Word, графического рисунка, созданного в любом графическом редакторе (например, Photo-Finish) до видеоклипа.

В редакторе предусмотрены удобные средства для создания этих объектов и точной привязки их

Цены на программное обеспечение GIS

Название	MapInfo	ArcView	WinGIS	GeoDraw/ GeoGraph	ArGIS	«Растр»	«Панорама»
Цена, долл. США	1400	1500	1490	500	550	400	600



к сети координат, выделения и редактирования. Изображение на экране может быть легко увеличено или уменьшено. Предусмотрены также функции сохранения и восстановления предыдущих состояний.

В качестве текста может быть использован любой текстовый набор, содержащийся в Windows. В системе имеется редактор для создания таких символов и их редактирования, а также простой механизм для их размещения на электронной карте. Оцифровка графических объектов возможна полуавтоматически при помощи дигитайзера, а также по отсканированному изображению, которое используется в качестве подложки. WinGIS является наиболее распространенной программой в России и, в частности, в Москве среди научных организаций, занимающихся созданием ГИС-проектов.

Система «Панорама» разработана в НИИ-29 Министерства обороны РФ и предназначена для решения на базе IBM-совместимых ПК следующих задач [7]:

- ведение картографической базы данных;
- создание, отображение и редактирование электронной карты по исходным картографическим материалам;
- устранение и поддержание связей между картографическими объектами и атрибутивными (семантическими) базами данных;
- представление картографической информации при помощи библиотеки условных картографических знаков;
- шивка различных (до 255) номенклатурных листов, содержащих до 255 слоев, до 65 535 видов объектов и до 65 535 видов характеристик объектов;
- выполнение расчетных операций;
- формирование и вывод отчетных, аналитических и презентационных материалов.

Преимущества данной системы следующие:

- наличие специального интерфейса поиска объектов электронной карты по характеристикам баз данных;
- вывод изображения электронной карты в заданном масштабе, составе, размере на принтер как непосредственно из программы, так и из MS Windows в формате PCX; предусмотрена возможность ввода картографического материала на монохромный или цветной плоттер со стандартным зарамочным оформлением;
- достаточно простые средства для ее реализации;
- возможность объединения отдельных номенклатурных листов в район (до 255 листов в одном районе).

Данная система отвечает требованиям к созданию системы справочно-информационного харак-

тера и может быть рекомендована для разработки СГИС.

Несомненно, интересна инструментальная система ArGIS, разработанная в Московском государственном университете геодезии и картографии. Система требует небольшого объема вычислительных ресурсов и в то же время по комплексу функциональных возможностей сравнима с такой системой, как ER Mapper:

- построение цифровых моделей местности;
- получение трехмерного, перспективного представления;
- возможность изменения встроенной библиотеки условных знаков, как обычных, так и трехмерных;
- получение размеров рельефа.

Эта система занимает среднее положение между специализированной и настольной ГИС.

Рассмотрев распространенные настольные GIS на рынке графических средств, можно прийти к выводу, что наиболее приемлемыми по ценам являются отечественные, а по функциональным возможностям и простоте инструментарию выделяется на общем фоне программа MapInfo, преимущества которой заключаются в следующем.

- Для работы в MapInfo не нужно переквалифицироваться в профессионального картографа. Пакет MapInfo специально спроектирован для обработки и анализа информации, имеющей адресную или пространственную привязку. Требуется небольшое время для обучения работе с операциями, которые поддерживают взаимодействие с базой данных.
- MapInfo поддерживает данные форматов XBASE, ACCESS, Lotus и Excel, что дает возможность импортировать данные, например, таблицу школ в редакторе MS ACCESS. Можно формировать запросы к удаленным базам данных на сервере.
- MapInfo является по сути открытой системой, что несомненно имеет огромное значение, так как позволяет с помощью доступных языков программирования создавать на базе этой программы собственные ГИС.
- MapInfo обладает мощным средством анализа данных, которое позволяет не просто обрабатывать, но и наглядно представлять их, совмещая преимущества, как семантических баз, так и карт, схем и графиков [8]. Данный компонент системы наиболее подходит для разработки специализированной справочно-советующей ГИС.

Как видно из далеко не полного перечня преимуществ, MapInfo является именно той программной средой, в которой должна разрабатываться справочно-советующая ГИС обеспечения социально-образовательными услугами административного округа.

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА СГИС

Для разных слоёв пользователей архитектура СГИС неоднородна. Как показано на рис. 1, в зависимости от этого расширяется или сужается круг задач, решаемых системой.

Несомненно, что человеку, профессионально занимающемуся геоинформационными системами, необходим более сложный интерфейс, отвечающий широкому спектру специализированных задач:

- трансляция данных из одного формата в другой;
- создание приложений в пакете прикладных программ;
- импорт/экспорт графических и текстовых данных.

Интерфейс пользователя-аналитика может не включать в себя многие модули СГИС, но в то же время отвечать текущим функциональным потребностям. Аналитика, не имеющему глубоких знаний в области ГИС, будет вполне достаточно модуля программного средства GIS (MapInfo) и модуля справочной системы программы. Если у аналитика возникают более глубокие задачи, которые вы-

ходят за рамки функциональных возможностей его интерфейса, он может обратиться за помощью к администратору ГИС через Интернет или связаться с ним по телефону службы технической поддержки пользователей MapInfo. Администратор может дать устную консультацию аналитику, либо помочь ему создать приложение в пакете прикладных программ, например MapBasic. Интерфейс пользователя-аналитика содержит около 14% функций интерфейса администратора ГИС. Соотношение интерфейсов было выявлено опытным путем через расчет объема информации стандартных и дополнительных модулей пакета программы MapInfo.

Возможная схема доступа пользователя к данным СГИС в Интернете показана на рис. 2. Доступ осуществляется в несколько этапов:

- компьютер пользователя формирует запрос к СГИС и отправляет его через Интернет на сервер, на котором установлено программное обеспечение MapInfo и СГИС;
- запрос, полученный сервером, отправляется в систему обработки поиска для упорядочения информации, полученной от пользователя, и приведения ее к стандартному виду для организации поиска;

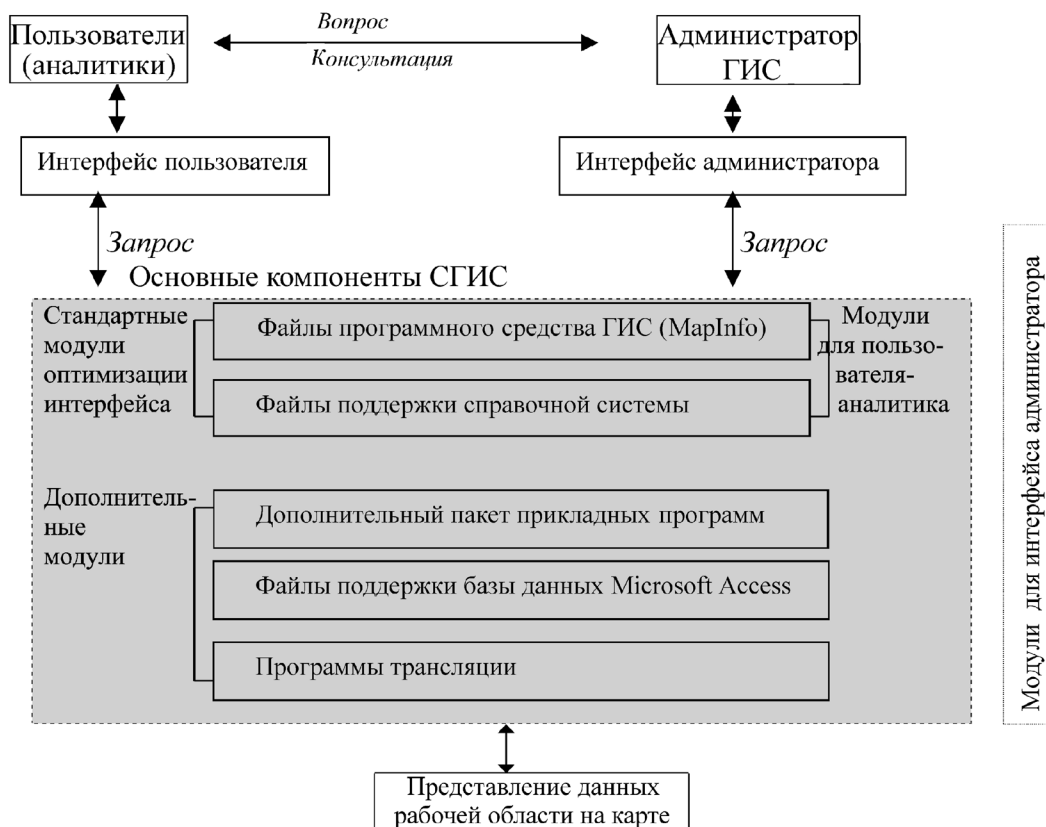


Рис. 1. Структурная схема СГИС

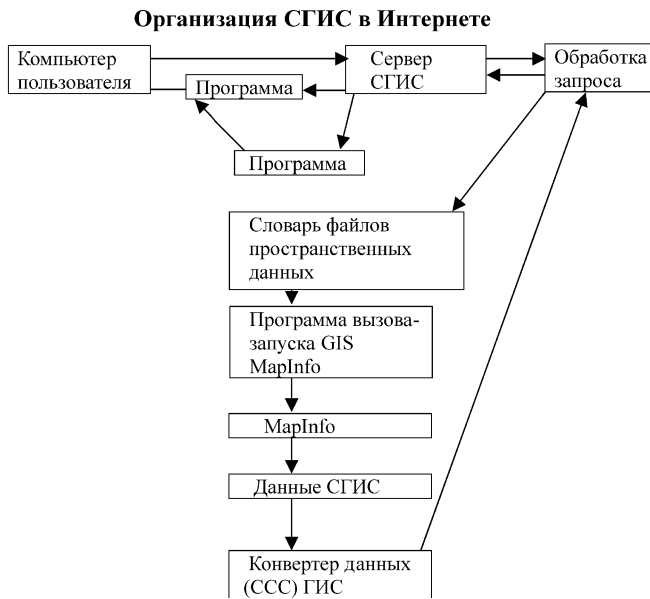


Рис. 2. Схема доступа к данным СГИС

- из системы обработки запроса информация поступает в словарь файлов пространственных данных, где происходит поиск необходимой пользователю информации в графовой форме;
- после обнаружения необходимой информации в словаре вызывается программа, обеспечивающая запуск GIS MapInfo;
- после запуска MapInfo автоматически становятся доступными данные СГИС с графическими и текстовыми покрытиями (слоями), которые затем отправляются в систему конвертации;
- система конвертации данных обеспечивает перевод данных из формата MapInfo в любой иной формат, который поддерживает компьютер пользователя, и осуществляет передачу и визуализацию данных без программного обеспечения; система конвертации может содержать ActiveX-компоненты;
- из системы конвертации данные отправляются в систему обработки запроса, где им присваивается определенное название, и отсылаются с сервера через Интернет на компьютер пользователя;
- перед просмотром информации пользователь должен запустить специальную программу, позволяющую визуализировать конвертированные из MapInfo данные, например, ActiveX-компоненты;
- если запрос пользователя требует значительных вычислений, например, получение карт различных областей с обширной базой данных, или информация по СГИС необходима

через несколько дней, то на сервере СГИС можно оставить адрес электронной почты, куда будет отправлена информация; однако объем информации не должен превышать объема ящика электронной почты, в противном случае будут получены не все информационные данные.

НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАЗРАБОТКИ

По итогам разработки СГИС для применения в ряде окружных управлений Москвы (в частности, в окружных управлениях образованием Северного и Юго-Западного административных округов) было выявлено, что важное значение имеют следующие свойства системы [9]:

- открытость системы для манипуляций с графическими объектами и информационными данными (редактирование карты и изменение информации);
- возможность увеличения объема картографической и семантической информации в процессе эксплуатации системы (нанесение новых интересующих объектов, редакция карты, занесение данных семантической информации);
- организация и работа с базами данных различного характера (картографическими, текстовыми и др.);
- возможность построения графиков;
- возможность анализа статистических данных (подсчет дисперсии, определение экстремумов, количественных оценок и т. д.);
- возможность применения картографической генерализации (увеличения и уменьшения масштаба карты).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дадим несколько рекомендаций, направленных на развитие и совершенствование СГИС.

При цифровании карт с большим объемом графических данных следует «разрезать» их на части по 5...6 Мб.

Целесообразно разработать упрощенный вариант доступа пользователя к СГИС через Интернет с помощью пиктограмм, содержащих небольшое матричное символическое изображение [10] района округа Москвы, что уменьшит время доступа к интересующей области и привязанной к ней базе данных.

Привлечь к созданию баз географических данных по округам Москвы СГИС школьников и студентов в рамках обучения по предмету «Геоинформатика».



Отметим, что по примеру СГИС округов Москвы могут создаваться справочные системы для поддержки принятия решений в других городах Российской Федерации, которые в дальнейшем могут быть объединены в единую российскую систему для поддержки принятия решений в органах управления средним образованием.

ЛИТЕРАТУРА

1. Днепрова Э. Д. Школьная реформа между «вчера» и «завтра». — М.: Профиздат, 1996. — 720 с.
2. <http://mom.mtu-net.ru>
3. Сидоренко М. П. Исследование методов представления информации в геоинформационных справочных системах / Дисс. канд. техн. наук. — Таганрог, 1999. — 163 с.
4. Коновалова Н. В., Капранов Е. Г. Введение в ГИС. — Петрозаводск: Петрозав. ун-т, 1995. — 148 с.
5. Цветков В. Я. Геоинформационные системы и технологии. М.: Финансы и статистика, 1998. — 288 с.
6. Шайтура С. В. Геоинформационные системы и методы их создания. — Калуга: изд-во Н. Бочкаревой, 1998. — 252 с.
7. Мартыненко А. И. Картографическое моделирование и геоинформационные системы // Геодезия и картография. — 1994. — № 9. — С. 43 — 45.
8. Уткина Н. В. Средства создания электронной карты города // Сб. материалов II конф. «Геоинформационные технологии в решении региональных проблем». — Тула: ТГУ, 2000. — С. 32 — 35.
9. Смирнов С. В., Тюкавкин Д. В. Разработка ГИС-продуктов для целей управления социально-образовательной сферой региона // Сб. научных трудов V молодежной науч.-техн. конф. «Научоёмкие технологии и интеллектуальные системы 2003», Ч. 1. — М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2003. — С. 164 — 165.
10. Башмаков А. И., Башмаков И. А. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем. — М.: Информ.-издат. дом «Филинь», 2003. — 616 с.

☎ (095) 420-11-42

E-mail: map78@bk.ru



II Международная конференция «Параллельные вычисления и задачи управления» PACO'2004

С 4 по 6 октября 2004 г. состоится II Международная конференция «Параллельные вычисления и задачи управления». Конференция проводится Институтом проблем управления имени В. А. Трапезникова РАН, Российским национальным комитетом по автоматическому управлению, Российской академией наук. Заседания конференции будут проходить в Институте проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН по адресу: 117997 Москва, Профсоюзная ул., д. 65. Официальные языки конференции — русский и английский.

Председатель международного программного комитета — академик **В. Е. Фортов**, академик-секретарь Отделения энергетики, машиностроения, механики и процессов управления РАН.

Председатель национального организационного комитета — **И. В. Прангишвили**, академик АН Грузии, директор Института проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН.

ТЕМАТИКА КОНФЕРЕНЦИИ

- Общие проблемы системных методологий
- Модели сложных проблем и методы их исследования
- Параллельные и распределенные вычисления в задачах управления, моделирования и идентификации
- Распределенные информационно-вычислительные среды
- Проблемы управления и самоорганизации в глобально распределенной компьютерной среде
- Модели параллельных и распределенных вычислительных процессов и систем
- Технологии программирования параллельных и распределенных задач
- Защита информации в распределенных вычислительных системах
- Надежные вычисления в параллельных и распределенных системах
- Совместное проектирование программного и аппаратного обеспечения
- Проекты распределенных информационно-вычислительных систем

ВАЖНЫЕ ДАТЫ

- Представление тезисов до **16 декабря 2003 г.**
- Информация о принятии до **1 марта 2004 г.**
- Представление статей до **1 мая 2004 г.**
- Предварительная регистрация участников до **1 мая 2004 г.**
- PACO'2004 **4–6 октября, 2004 г.**

КОНТАКТЫ

Тел./факс (095) 334 89 90, E-mail: paco@ipu.ru
Подробная информация о конференции: <http://paco.sicpro.org>



БИОЛОГИЧЕСКАЯ РЕГУЛЯЦИЯ И ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ЖИЗНИ¹

А.И. Михальский, А.И. Яшин

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

Изучается регуляция защитных систем организма, ответственных за продолжительность жизни. На основании наблюдений за продолжительностью жизни червей *Caenorhabditis elegans* после стрессового воздействия в начале жизни показано, что у червей существуют два стационарных уровня защиты. Переключение между этими уровнями соответствует старению организма, а продление продолжительности жизни происходит за счёт повышения эффективности защиты в старших возрастах. Наличие двух стационарных уровней защиты объясняется нелинейностью дифференциальных уравнений, описывающих производство в организме вредных и защитных веществ. Обсуждается распространение полученных результатов на человека.

ВВЕДЕНИЕ

Изучение законов регуляции процессов, происходящих в биологических организмах, необходимо при разработке методов и средств воздействия на организм с целью достижения желаемых свойств его функционирования. Подобные воздействия могут происходить на уровне клеток и органов организма, на уровне сообщества и популяции. Спектр воздействий простирается от введения в организм биологически активных веществ до контролируемых условий обитания, включая селекцию потомства. При этом в управлении оказываются задействованными различные механизмы, действующие на клеточном уровне — биохимические реакции, на уровне органов — физиологические контуры, популяционном — механизмы наследования и внутривидовой конкуренции. Изучение законов управления на различных уровнях и поиск универсальных закономерностей позволяет расширять область применения методов оптимального управления и решать задачи по созданию новых лекарств, препаратов для поддержания и продления активной жизни, генетически модифицированных организмов и растений с улучшенными производственными характеристиками. Оптимальное управление позволит уменьшить возможные негативные последствия и побочные эффекты, возникающие при конструировании новых препаратов и организмов.

¹ Статья рекомендована к печати Программным комитетом Второй международной конференции по проблемам управления (Москва, 2003 г.).

Новым объектом управления стала человеческая популяция. В экологии изучается развитие биоценозов в терминах количества организмов, составляющих взаимодействующие и конкурирующие субпопуляции. Применительно к человеческим популяциям важно уметь оценивать качество популяции в терминах её возрастного состава, состояния её здоровья, трудового потенциала. Необходимо уметь прогнозировать изменение этих показателей и выявлять факторы, с помощью которых возможно управлять состоянием популяции для достижения возможно большей продолжительности здоровой и производительной жизни.

УВЕЛИЧЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНИ ЧЕЛОВЕКА

Вторая половина XX в. охарактеризовалась значительными успехами в санитарии и медицине, что позволило существенно уменьшить детскую смертность и смертность от инфекционных и паразитарных заболеваний. В результате наблюдается рост средней продолжительности жизни, который можно проиллюстрировать на примере динамики изменения средней продолжительности жизни женщин в странах, имеющих максимальную продолжительность жизни среди женщин [1]. В табл. 1 приведены год, страна, в которой наблюдалась максимальная продолжительность жизни среди женщин в этом году, и значение средней продолжительности жизни.

Видно, что среди женщин средняя продолжительность жизни растёт почти линейно. В России средняя продолжительность жизни начала резко расти начиная с 1950 г. [2], изменившись для жен-

щин с 40 лет в конце 1940-х гг. до 72 лет к 2000 г. Для мужчин средняя продолжительность жизни выросла со значения 40 лет в конце 1940-х гг. до 65 лет в середине 1960-х гг. с последующим падением до 60 лет к 2000 г.

Одновременно с ростом продолжительности жизни в экономически развитых странах наблюдается снижение рождаемости, что ведёт к увеличению пропорции населения старших возрастов. В экономически слабо развитых странах неконтролируемая рождаемость сохраняется на высоком уровне, но вследствие снижения смертности среди пожилых также наблюдается рост числа престарелых. В настоящее время тенденция «постарения» населения наблюдается во всех регионах мира [3]. В табл. 2 приведены оценки и прогноз доли лиц пожилого возраста среди населения в различных регионах мира. Видно, что наиболее «старым» регионом является Европа, а наиболее «молодым» — Северная Африка. Сохранение этой тенденции прогнозируется и в будущем.

Рост доли пожилых лиц в населении ведёт к возникновению экономических, медицинских и социальных проблем. Например, в результате «постарения» населения России доля пожилых (65 лет и старше), отнесённая к трудоспособному населению (15–65 лет), возросла с 12% в 1965 г. до 18% в 2000 г. и по прогнозам в 2025 г. составит 25...30% [2]. Такая диспропорция ведёт к чрезмерной нагрузке на пенсионную систему и требует изменения пенсионного законодательства для обеспечения

пенсиями растущего числа пенсионеров. В области здравоохранения рост числа пожилых требует перепрофилирования спектра медицинских услуг с учетом роста неинфекционной хронической заболеваемости, необходимости её профилактики и расширением гериатрической помощи. В области социального обеспечения возникает потребность в дополнительном обеспечении инвалидности, рост которой необходимо учитывать при проведении налоговых и законодательных реформ.

Для решения перечисленных проблем, связанных с ростом доли пожилых лиц, необходимо уметь прогнозировать тенденцию изменения возрастного состава населения, знать факторы, влияющие на неё, и разрабатывать мероприятия для сохранения активности и трудоспособности лиц старших возрастов. Геронтология и демография частично решают эти задачи, предоставляя феноменологические подходы и схемы прогнозных расчётов. Однако для построения более точных моделей и, как результат, выработки эффективных управляющих решений представляется перспективным изучение законов управления на клеточном и генетическом уровнях, использование генетических, биологических и эволюционных аналогий между организмами, понимание процессов, управляющих здоровьем и жизнью людей. Управляющими воздействиями, выработанными на основании полученных знаний могут быть созданы высокоэффективные гериатрические препараты и разработаны шадящие методы лечения, применение которых можно рассматривать как управляющие воздействия, продлевающие период здоровой жизни человека.

Таблица 1

Максимальная средняя продолжительность жизни среди женщин

Год	1850	1900	1950	2000
Страна	Норвегия	Новая Зеландия	Норвегия	Япония
Продолжительность жизни, лет	47	56	72	82

Таблица 2

Рост доли лиц (%) старших возрастов в мире

Регион	Год	65 лет и старше	75 лет и старше	80 лет и старше
Европа	2000	15,5	6,6	3,3
	2015	18,7	8,8	5,2
Северная Америка	2000	12,6	6,0	3,3
	2015	14,9	6,4	3,9
Азия	2000	6,0	1,9	0,8
	2015	7,8	2,8	1,4
Северная Африка	2000	2,9	0,8	0,3
	2015	3,2	1,0	0,4

МОДЕЛИРОВАНИЕ СТАРЕНИЯ

При построении математических моделей динамики населения необходимо привлечение знаний о законах развития процесса старения и законах регуляции как на уровне организма, так и на уровне популяции. Существует много теорий, объясняющих феномен старения с эволюционной, генетической и биохимической точек зрения. В одних теориях старение рассматривается как эволюционно запрограммированный процесс, в других — как результат накопления спонтанных поврежденных клеток и органов. В настоящее время каждая из теорий опирается на достаточно большое число фактов и ведутся масштабные исследования по изучению продолжительности жизни одноклеточных (дрожжи), многоклеточных (черви и мухи) организмов, а также и людей (популяционные исследования). Выяснение реальных механизмов, лежащих в основе процесса старения, важно для решения таких актуальных вопросов, как оценка максимальной продолжительности жизни человека и разработка средств замедления старения и продления жизни.

Плодотворным направлением экспериментального изучения механизмов старения является про-

Зависимость продолжительности жизни *C. elegans* от длительности нагревания

Длительность, ч.	0	1	2	4	6	8	10	12
Число червей	137	100	152	133	164	152	200	178
Средняя продолжительность жизни, дни	16,6	18,2	17,6	14,6	6,8	4,2	1,8	0,8
Среднеквадратическое отклонение	0,4	0,6	0,4	0,6	0,4	0,2	0,1	0,1

ведение стрессовых экспериментов над лабораторными организмами и животными: дрожжами, червями, мухами и мышами. В ряде экспериментов показано, что малые дозы различного вида воздействий – гравитационного, термического, радиационного, ограничение питания – ведут к увеличению продолжительности жизни подопытных животных. Подобное явление известно в токсикологии и биологии под названием *гормезис* и активно изучается в настоящее время [4]. Обработка этих данных позволяет строить математические модели, описывающие в общих терминах процессы регуляции продолжительности жизни, и выработать рекомендации по путям её продления.

ЭКСПЕРИМЕНТЫ С *Caenorhabditis elegans*

В работе [5] описаны эксперименты по наблюдению продолжительности жизни червей *Caenorhabditis elegans* (TJ1060 (*spe-9; feg-15*)), которых на четвёртый день жизни содержали в течение различного времени при температуре 35 °С, а затем при нормальной температуре 20 °С. В каждом эксперименте участвовало 100...200 червей. Оказалось, что при нагревании в течение одного часа средняя продолжительность жизни червей возрастает от 16,6 до 18,2 дня. При более длительном нагревании средняя продолжительность жизни падает. В табл. 3 приведены условия проведения эксперимента, наблюдавшаяся средняя продолжительность жизни и значение её среднеквадратического отклонения.

Видно, что эффект после одного часа нагревания статистически значим.

Модель наблюдаемого явления гормезиса может быть построена из рассмотрения закона дожития червей после стресса и без нагревания в контрольном эксперименте. Изучение динамики смерти червей после нагревания в течение одного часа показало, что до возраста 20 дней их смертность не отличается от смертности в контрольном эксперименте. В более старших возрастах смертность в стрессовом эксперименте ниже, чем смертность в контрольном эксперименте, что проявляется в увеличении средней продолжительности жизни. На рис. 1 представлена динамика изменения доли червей, доживших до определённого возраста в контрольном эксперименте и после нагревания в течение одного часа.

Для математического описания наблюдаемых зависимостей удобно воспользоваться общей теорией смертности и старения [6]. В соответствии с этой теорией смертность определяется соотношением между уровнем защиты организма от вредных внешних воздействий и интенсивностью возникновения вредных воздействий. При неизменных параметрах защиты смертность изменяется по экспоненциальному закону Гомперца. На рис. 1 сплошная и штриховая линии изображают долю доживших червей, рассчитанную в соответствии с моделью Гомперца с переменными параметрами защиты для контрольного эксперимента (сплошная линия) и для стрессового эксперимента (штриховая линия). Видно, что после возраста 20 дней происходит резкое падение эффективности защиты организма от вредных воздействий. Эффективность защиты на второй половине жизни *C. elegans* определяется условиями, существовавшими в начале его жизни. Нагревание до температуры 35 °С в течение одного часа в возрасте четырёх дней ведёт к более эффективной защите в возрасте старше 20 дней.

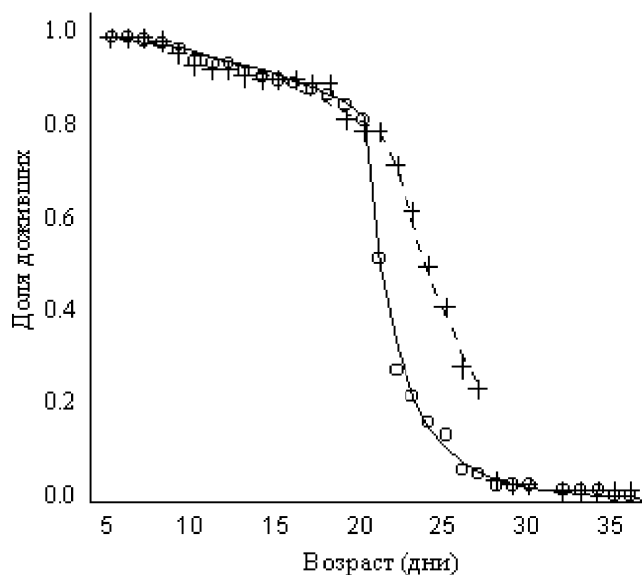


Рис. 1. Доля *C. elegans*, доживших до определённого возраста в контрольном эксперименте (O) и после нагревания в течение одного часа (+)

Таким образом, можно сделать вывод о том, что всё многообразие биохимических реакций, активности генов и гормонов в организме червя *C. elegans*, направленное на поддержание жизни, сводится к реализации двух устойчивых состояний защиты. На протяжении репродуктивного периода жизни *C. elegans* (20 дней) реализуется универсальная высокоэффективная защита, уровень которой не изменяется при умеренных вариациях условий обитания. Эта защита сложилась в результате эволюции и по окончании репродуктивного периода теряет своё значение, поскольку организм, не производящий потомство, теряет эволюционную ценность. Видимо, эволюционно решалась задача оптимизации эффективности защиты на репродуктивном периоде при ограничениях на имеющийся ресурс. В теории управления такие задачи часто приводят к оптимальному управлению, которое заключается в переключении траекторий, проходящих по ограничениям, что и наблюдается в данном случае. В репродуктивном периоде реализуется максимально возможная защита, которая затем переключается на более низкий уровень. Начальный уровень защиты не зависит от слабых возмущений начальных условий обитания, а конечный определяется ими.

ОПИСАНИЕ МЕХАНИЗМА ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ ЗАЩИТЫ

Интересно рассмотреть механизм реализации описанного закона ступенчатого оптимального управления в организме *C. elegans*. В работе [7] приведено биофизическое описание механизмов триггерного переключения на уровне живой клетки. Аналогичное описание можно сконструировать и для переключения уровней защиты организма.

На рис. 2 представлен фазовый портрет системы, состоящей из двух нелинейных дифференциальных уравнений, одно из которых описывает динамику выработки вредных для организма веществ в процессе его жизнедеятельности под влиянием внешних воздействий (сплошная линия), а второе описывает динамику выработки веществ, защищающих организм в начале жизни (штриховая линия) и в старости (пунктирная линия). Точки *A*, *B* и *C* пересечения сплошной линии с пунктирной линией являются стационарными точками системы, причем точки *A* и *C* соответствуют устойчивым состояниям, а точка *B* — неустойчивому. В начале жизни случайные колебания уровня вредных веществ, отмеченные на рис. 2 затенённой областью, не выводят организм из устойчивого состояния *A*, в котором удаётся поддерживать баланс вредных и защитных веществ, при котором реализуется высокий уровень защиты жизнеспособности организма. Со временем происходит потеря эффективности функционирования системы выработки защитных веществ, что проявляется в смещении штриховой кривой вниз и в перемещении точки

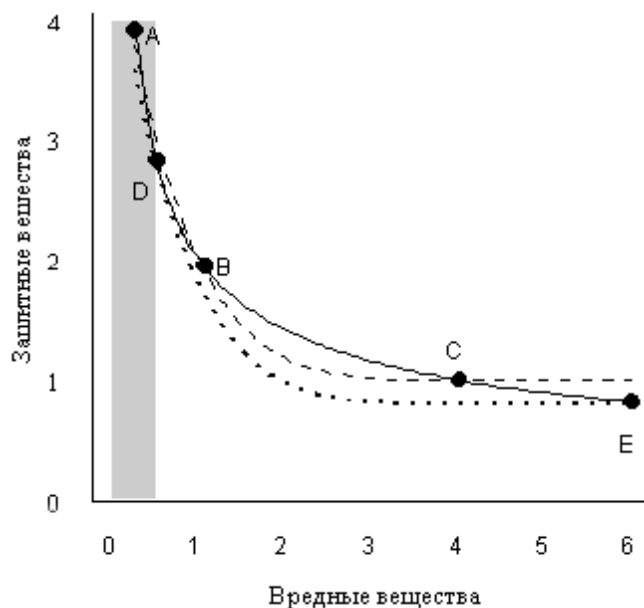


Рис. 2. Фазовый портрет двухкомпонентной системы на репродуктивном (штрихи) и пострепродуктивном (пунктир) периодах жизни *C. elegans*

неустойчивого равновесия влево. По сути, именно в таком параметрическом изменении системы и заключается феномен старения. В некотором возрасте точка неустойчивого равновесия достигает реализованного на этот момент уровня вредных веществ — точка *D*, и организм переходит в новое устойчивое состояние, отмеченное точкой *E*, характерное низким уровнем защиты жизнеспособности организма.

ВЫВОДЫ

Методы теории управления позволяют выяснять законы, по которым происходит процесс потери жизнеспособности организма, называемый старением. Применение этих и аналогичных законов к человеческой популяции позволяет строить объективные оценки состояния населения, прогнозировать ожидаемые изменения в численном и возрастном составе, рекомендовать мероприятия по сохранению его жизнедеятельности.

Продолжительность жизни организма определяется балансом повреждающих веществ, вырабатываемых в процессе жизнедеятельности (оксидантов), и защитных веществ, производство которых может стимулироваться тепловым шоком (белки теплового шока). Для простейших многоклеточных организмов, таких как черви *C. elegans*, баланс этих веществ приводит к существованию двух стационарных состояний, между которыми в конце репродуктивного периода происходит переключение, ведущее к резкому уменьшению уровня защиты организма и увеличению смертности.



Уровень защиты червя на пострепродуктивном периоде жизни зависит от условий существования в начале жизни. Так, умеренное тепловое воздействие на червя в возрасте четырех дней приводит к увеличению защиты в «старости» и увеличению продолжительности жизни по сравнению с контрольной группой, не подвергавшейся тепловому воздействию. Подобное стимулирующее действие стресса ведёт к возникновению явления *гормезиса*.

Распространяя полученные результаты на человека, можно сделать вывод, что условия жизни в детстве и молодости во многом определяют состояние здоровья в старших возрастах. Из этого следует, что профилактика здоровья должна быть нацелена, в первую очередь, на оздоровление детства и юношества. Положительные эффекты этих мероприятий могут наблюдаться в пожилом возрасте в виде снижения заболеваемости, уменьшения инвалидности и повышения длительности активной жизни. Это, в свою очередь, позволяет сохранять лиц пожилого возраста в трудоспособной части населения, снижая нагрузку на системы пенсионного, социального и медицинского обеспечения.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Oeppen J. and Vaupel J. W.* Demography: Enhanced: Broken Limits to Life Expectancy // Science. — 2002. — № 296. — P. 1029–1031.
2. *Население России 2000. Восьмой ежегодный демографический доклад / Под ред. А.Г. Вишнева* — М.: Книжный дом «Университет», 2001.
3. *Kinsella K., Velkoff V.A.* (2002) The demographics of aging. *Ageing Clin. Exp. Res.* 14:159–169.
4. *Calabrese E.J., Baldwin L.A., Holland C.D.* Hormesis: a highly generalizable and reproducible phenomenon with important implications for risk assessment // *Risk Anal.* — 1999. — № 19. — P. 261–281.
5. *Michalski A.I., Johnson T.E., Cypser J.R., Yashin A.I.* Heating stress patterns in *Caenorhabditis elegans* longevity and survivorship // *Biogerontology.* — 2001. — № 2. — P. 35–44.
6. *Strehler L., Mildvan S.* General theory of mortality and aging // Science. — 1996. — № 132. — P. 14–21.
7. *Веселова И., Веселовский А., Чернавский С.* Стресс у растений. — М.: МГУ, 1993.

☎ (095) 334-88-20

E-mails: mikhalsk@ipu.rssi.ru

yashin@demogr.mpg.de □

ABSTRACTS

Belyakov A.G., Mandel' A.S., Borzenko N.I., Lapin A.V., Tokmakova A.B., Shushkov V.V.

EXPERT STATISTICAL SYSTEMS FOR TIME SERIES PREDICTION AND THE ESTIMATING SIMULATION

Prediction procedures based on the analogs method are described. Two software systems are presented: the first one (EXPAM) provides a set of expert statistical procedures of time series prediction based on short samples, the second one (EXPRIM) implements prediction process simulation procedure at the stage of the preliminary study of the control object. — P. 30.

Kuznetsov L.A.

SYSTEM REPRESENTATION OF FINANCIAL AND ECONOMIC ACTIVITY OF AN ENTERPRISE

Mathematical formulation of financial and economic activity of an enterprise subject to the accounting field is derived. The mathematical tools are developed that allow to describe the results of financial and economic activity of any specific enterprise in the form and terms of the mathematical theory of conditional optimization. The technology of computerizing the solution procedures for management, financial analysis and enterprise control philosophy investigation tasks is illustrated. — P. 39.

Reymarov G.A., Gritsuk R.K., Ionov V.V.

PERSONA SOFTWARE SYSTEM AS A TOOL FOR ENTERPRISE HUMAN ASSETS ANALYSIS AND MANAGEMENT

Key features, functional design and information database of PERSONA software and methodic system intended for evaluating the activities of production process participants. The paper pays attention to expert data analysis and knowledge testing results. The examples of the system applications at power and nuclear engineering plants are adduced. — P. 49.

Smirnov S.V., Tyukavkin D.V.

A GEOINFORMATION SYSTEM FOR DECISION-MAKING SUPPORT IN SOCIAL AND EDUCATIONAL AUTHORITIES

The development problems of a geoinformation system, which supports the decision-making in the system of social and educational service management of Moscow administrative districts are discussed. The tasks solved by the system are determined as well as the principles of their solution. The system's functionality is analyzed; its structure and its organization in the Internet are considered; some development results and future development recommendations are adduced. — P. 54.

Michalski A.I., Yashin A.I.

BIOLOGICAL REGULATION AND LONGEVITY

Regulation in protective systems responsible for longevity is considered. Early life stress experiments with *Caenorhabditis elegans* worms show that the two stationary states of protection exist. The switch between them reflects the aging process while the observed increase in longevity takes place due to more effective protection at advanced ages. The presence of the two stationary states is explained by the nonlinear structure of differential equations, which describe the production of harmful and protective substances in the organism. The extension of the results to the humans is discussed. — P. 61.

*Посвящается памяти академика
Бориса Николаевича Петрова –
доброто гения развития работ
по космонавтике в Институте
проблем управления (автоматики
и телемеханики) АН СССР*

УДК 629.7.036.54-63

КРАТКИЙ ОЧЕРК НЕКОТОРЫХ РАБОТ ПО КОСМОНАВТИКЕ ИНСТИТУТА ПРОБЛЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИМ. В. А. ТРАПЕЗНИКОВА

Ю. П. Портнов-Соколов

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

Описаны становление и развитие работ Института по исследованию ЖРД как объекта управления, созданию терминальных систем управления расходом топлива жидкостной ракеты, новым технологиям построения систем подачи топлива в двигатель. Рассмотрены проблема безопасности объектов ракетно-космической техники и управление риском в жизненном цикле объектов этого класса.

ВВЕДЕНИЕ

Уровень развития космонавтики и, соответственно, ракетостроения характеризует научный потенциал и оборонную мощь страны и во многом определяет ее место в мировом сообществе.

Гениальные работы К. Э. Циолковского обосновали основные принципы ракетостроения, теоретической и практической космонавтики. Его последователи в нашей стране в начале 1930-х гг. (Ф. А. Цандер, С. П. Королев, М. К. Тихонравов), вдохновленные идеей о межпланетных сообщениях, начали работы по созданию ракет, их двигательных установок и теории космического полета. Аналогичные работы в те же годы велись в Германии (Г. Оберт) и США (Р. Годдард). В СССР начал работы по ракетным двигателям В. П. Глушко. Мощный толчок в своем развитии ракетостроение получило в годы второй мировой войны. В фон Брауном (Германия) была создана баллистическая ракета Фау-2 (А-4), которой немцы рассчитывали подавить Англию.

Однако этот расчет не оправдал себя, так как созданные в спешке ракеты были недопустимо ненадежны, а точность стрельбы ими не выдерживала никакой критики – на дистанции менее 300 км отклонения от цели достигали десятков километров.

С окончанием второй мировой войны Советский Союз и США получили доступ к секретным разработкам и производству ракет повергнутого рейха. Изучение немецкого «наследия» у нас возглавили С. П. Королев, В. П. Глушко и Б. Е. Черток. Вначале работы велись в темпе обычных разработок оборонной техники. Трагедией Хиросимы и Нагасаки США показали свою бесчеловечность в применении атомной бомбы. С началом «холодной войны» США окружили нашу страну военными авиационными базами, их самолеты несли атомные бомбы и были нацелены на важнейшие промышленные центры и большие города СССР. Перед ракетчиками нашей страны возникла острейшая задача – в кратчайший срок создать носитель атомного заряда межконтинентальной дальности, способный парировать намерения предполагаемого противника атаковать нашу страну. В 1954 г. вышло постановление правительства, возлагавшее



на С. П. Королева и ряд его смежников создание баллистической ракеты межконтинентальной дальности, способной донести атомный заряд до территории США с высокой точностью поражения цели.

Ведущие конструкторы и ученые понимали, что создание такой МБР откроет возможности полетов в космос, так как первая космическая скорость практически уже будет достигнута, а последующим наращиванием энергетики и совершенствованием конструкции носителей может быть достигнута и вторая, и третья космические скорости. Но в те годы о космических полетах было говорить преждевременно, оборонная задача была абсолютно приоритетной, и лишь с созданием боевой ракеты Р-7 космос легализовался. С. П. Королев получил возможность применять ракету Р-7 в космических целях. Для начала был запущен первый в мире искусственный спутник Земли ПС-1, потрясший мир и, в особенности, наших недругов.

Поисковые работы по созданию межконтинентальной ракеты, ее двигательной установки и системы управления велись, начиная с конца 1940-х и в начале 1950-х гг. (С. П. Королев, М. К. Тихонов, В. П. Глушко, Н. А. Пилюгин и др.).

ЖИДКОСТНАЯ РАКЕТНАЯ ДВИГАТЕЛЬНАЯ УСТАНОВКА КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

В 1950 г. Институт автоматики и телемеханики АН СССР (ныне Институт проблем управления РАН им. В. А. Трапезникова) по просьбе С. П. Королева и В. П. Глушко взял на себя выполнение исследований динамики мощного ЖРД с целью нахождения модели двигателя как объекта управления и принципов его регулирования. Эти работы возглавил Б. Н. Петров. Приоритетные результаты выполненных работ [1, 2] были доложены академиком М. В. Келдышу и Б. С. Стечкину, получили высокую оценку и легли в основу многих дальнейших работ в области управления силовыми установками жидкостных ракет, а также исследований и разработок, связанных с воздействием ЖРД на динамику происходящих в ракете процессов (например, исследование ее продольной устойчивости).

В 1954 г. Постановлением правительства Институт был включен в состав соразработчиков межконтинентальной ракеты С. П. Королева, получившей рабочее название Р-7. Научным руководителем работ был назначен академик Б. Н. Петров, главной задачей была определена проблема управления двигательной установкой ракеты пакетной схемы. В этой ракете, истоки архитектуры которой восходят к идее «эскадрильи ракет» К. Э. Циолковского, было необходимо обеспечить опорожнение баков в единый момент выключения ЖРД.

Возникла проблема терминального управления расходом топлива через воздействия на тягу и коэффициент соотношения многодвигательной установки ракеты блочной компоновки. Эта проблема была абсолютно новой, не было никаких прототипов, даже отдаленно приближающихся к решению возникших здесь новых задач.

ТЕРМИНАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОМ ТОПЛИВА – НОВЫЙ КЛАСС БОРТОВЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

При разработке проблемы управления расходом топлива Институт были получены основополагающие результаты в создании нового класса автоматических бортовых систем – терминальных систем управления расходом топлива [3]. Используя информацию о запасах и расходах топлива и, при необходимости, элементы информации от системы управления ракетой, эти системы воздействуют на суммарный расход топлива, т. е. на тягу ЖРД и на соотношение расходов компонентов топлива. Генеральная цель их функционирования состоит в минимизации гарантийных запасов топлива, что при неизменной стартовой массе топлива позволяет использовать высвободившиеся гарантийные запасы для увеличения количества сжигаемых в ЖРД компонентов топлива, т. е. для увеличения конечной скорости ракеты. Это приводит к повышению на 10...20% энергетических характеристик носителя и, соответственно, к увеличению дальности стрельбы, массы полезного груза или высоты орбиты, на которую этот груз выводится.

Система управления расходом топлива для ракеты Р-7 была названа СОБИС – система опорожнения баков и синхронизации [4]. В дальнейшем был создан ряд поколений более совершенных систем этого класса, и они получили название СУРТ – системы управления расходом топлива.

Институтом были решены основные новые задачи в рамках проблемы создания СУРТ – исследование динамики и управляемости ЖРД, разработка принципов построения и алгоритмов работы систем, методов их проектирования и имитационного моделирования. Кроме того, Институт в те годы возглавил работы по поиску небывалых по метрологическим характеристикам датчиков уровня, которые были реализованы в ОКБ-1 и других конструкторских бюро [5], датчиков давления в газовых полостях двигательной установки [6] и др.

Институт участвовал во всех этапах разработки СУРТ и по праву взял на себя главенствующую и ответственную роль в создании этих систем не только для ракеты Р-7, но и для всех крупных бое-

вых и космических ракет нашей страны, заняв таким образом собственную нишу в строящемся здании прикладной космонавтики.

Аппаратную реализацию систем в аналоговом варианте взял на себя НИИП МАП, где главным конструктором был А. С. Абрамов, а ведущим специалистом по этим системам – Г. С. Маслов.

Новые принципы повышения энергетических характеристик ракет благодаря управлению двигательными установками были доложены на конгрессе Международной астронавтической федерации в Португалии. Доклад был опубликован в журнале Академии астронавтики США [7].

Таким образом, в итоге более чем полувековых работ, идейным вдохновителем которых был академик Б. Н. Петров, сформировалось новое направление совершенствования ракет-носителей с жидкостными ракетными двигательными установками, включающее в себя:

- разработку концепции и технических способов повышения энергетических характеристик жидкостных ракет с помощью средств управления;
- разработку математических моделей жидкостной ракетной двигательной установки как объекта управления и рациональных принципов управления;
- разработку принципов построения высокоэффективных терминальных СУРТ повышенных гибкости и надежности и алгоритмов их работы;
- создание ряда поколений серийных СУРТ, являющихся неотъемлемой частью всех мощных жидкостных ракет – от первой МБР Р-7 до проектируемых перспективных ракет-носителей («Союз-2», семейство «Ангара», «Аврора» и др.);
- обобщение результатов исследований в теории бортовых терминальных систем управления [8].

НЕКОТОРЫЕ ПАМЯТНЫЕ СОБЫТИЯ

В 1955–1956 гг. на полигоне Капустин Яр Институт участвовал в первых испытаниях системы опорожнения баков (СОБ) в полетах ракеты-лаборатории М5-РД С. П. Королева. Испытания прошли успешно при большом внимании С. П. Королева к их результатам. Результаты показали правильность выбранного принципа действия системы, достаточную ее надежность и выполнимость заданных требований по терминальной точности и отклонению коэффициента соотношения компонентов в процессе регулирования. Это позволило уверенно включить в боевую цепь ракеты Р-7 систему СОБИС.

В августе 1957 г. состоялся первый удачный пуск ракеты Р-7.

4 октября 1957 г. Институт участвовал на полигоне Тюра-там (затем Байконур) в подготовке и

проведении запуска первого искусственного спутника Земли ПС-1.

Техническое, научное и общественно-политическое значение этого запуска чрезвычайно велико. Запуск сыграл огромную роль в предотвращении перехода «холодной» войны, раздуваемой нашими потенциальными противниками, в «горячую» между двумя мирами на нашей планете. Академик А. А. Александров в одном из своих выступлений в 1990 г. сказал, что наш первый спутник на 33 года задержал возможное начало третьей мировой войны. Действительно, запуск спутника ПС-1 бесспорно доказал наличие у нас межконтинентальной ракеты.

Основные участники работ по созданию и запуску искусственного спутника ПС-1 были щедро награждены страной. Институт как организация, внесшая значительный вклад в осуществление запуска первого искусственного спутника Земли [9], получил памятную настольную медаль в честь этого запуска. По представлению С. П. Королева, В. П. Глушко и Б. Н. Петрова Межведомственный Совет под председательством М. В. Келдыша присудил без защиты диссертаций степень доктора наук автору этого очерка и степени кандидатов наук А. Н. Чацкину и В. Н. Маркову. Отличившиеся сотрудники Института были награждены орденами и медалями, получили квартиры.

Полет Ю. А. Гагарина на корабле «Восток» 12 апреля 1961 г., этот первый выход человека в космос, показал высокий уровень нашей теоретической и практической космонавтики и явился мощным толчком к развитию пилотируемых космических полетов у нас и за рубежом. Как всегда перед ответственным пуском ракеты, Институт при подготовке к полету Ю. А. Гагарина тщательно рассмотрел свои рекомендации и провел контрольное моделирование СОБИС совместно с регулятором кажущейся скорости и СОБ третьей ступени носителя. Хранящиеся в архивах телеметрические записи процессов опорожнения баков и синхронизации в пуске 12 апреля 1961 г. показали высокое совпадение с имитационным моделированием и четкое выполнение требований технического задания.

После поразившего весь мир полета Ю. А. Гагарина академики В. А. Трапезников и Б. Н. Петров, а также автор этих строк были награждены памятной настольной медалью в честь первого полета человека в космос. Ряд сотрудников Института был награжден орденами и медалями за успешную работу по созданию терминальных систем управления для ракеты-носителя корабля «Восток».

Начало международного сотрудничества в области космонавтики связано с образованием Совета «Интеркосмос», которым руководил академик Б. Н. Петров. Блестящие научные и организационные способности Бориса Николаевича позволи-



ли ему в разгар холодной войны создать орган, который осуществлял как беспилотные (на ракетах М. К. Янгеля), так и пилотируемые (на ракетах С. П. Королева) полеты с выводением в космос научной аппаратуры как отечественной, так и зарубежной. Экипажи космических кораблей состояли из представителей как дружественных нам стран, так и стран другого лагеря. Деятельность Совета «Интеркосмос» и личные качества Б. Н. Петрова сыграли важную роль в установлении и укреплении научных контактов с зарубежными деятелями и организациями в области космонавтики.

В 1970-х гг. при большом организационно-научном участии Б. Н. Петрова была достигнута договоренность с Соединенными Штатами о совместном космическом полете кораблей «Союз» и «Аполлон», со стыковкой их в космосе и проведении ряда совместных работ. Над подготовкой к полету работали большие коллективы ученых, конструкторов и инженеров в СССР и США. Координацию работ советских коллективов осуществлял «Интеркосмос». Б. Н. Петров внес большой личный вклад в решение многочисленных организационных и научно-технических проблем. Институт в соответствии с постановлением Правительства провел контрольное моделирование своих систем для носителя «Союз», предназначенного для выведения нашего корабля по программе «Союз – Аполлон», участвовал в работах по повышению надежности и сопровождению систем при подготовке и проведении пусков. Как известно, предпринятая миссия закончилась удачно, два корабля мягко состыковались, совершили совместный полет и без замечаний осуществили расстыковку и посадку на Землю. Этот полет был первым примером содружества СССР и США в космосе.

Институту принадлежит большой вклад в создание СУРТ для крупнейшей в мире универсальной ракеты «Энергия» грузоподъемностью 100 т. Существенная новизна этой системы состояла в придании ей свойства гибкости, при котором многоблочная ракета при останове части двигателей в ряде случаев не входила в аварийное состояние и могла продолжать полет с достижением другой терминальной цели. Этой ракетой был успешно выведен на орбиту многоразовый корабль «Буран». Руководитель РКК «Энергия» Б. И. Губанов в своем письме выразил большую благодарность коллективу Института за работы по созданию нетрадиционных бортовых СУРТ для носителя «Энергия».

В последующие годы с окончанием холодной войны Институт принял участие в ряде международных космических акций. Так, высоко оценены работы Института по международному проекту «Морской старт». Здесь был выполнен цикл исследований по совершенствованию СУРТ носителя «Зенит-3SL». Внедрение предложенной Институ-

том идеологии «полной выработки» топлива повысило массу выводимой полезной нагрузки, а применение отказоустойчивых алгоритмов управления создало условия для придания носителю высокой надежности и безопасности.

В атмосфере конкуренции на коммерческом рынке пусков космических объектов Институтом была модернизирована СУРТ носителя «Протон-М» совместно с Центром им. Н. А. Пилюгина и Центром им. М. В. Хруничева. Модернизация «Протона», опирающаяся на применение бортовой цифровой вычислительной машины (БЦВМ) и новые решения по разгонному блоку, позволила повысить конкурентоспособность нашей ракеты по сравнению с французскими, китайскими и американскими носителями.

Нельзя не отдать должное прекрасной ракете С. П. Королева Р-7 («семерке»), которая в модификациях живет и работает уже почти полвека. За эти годы этой многоблочной ракетой выполнено свыше 1600 полетов с отечественными и зарубежными полезными нагрузками, в том числе с экипажами космонавтов.

Ракета Р-7 отличается изумительной архитектурой. Надо полагать, что ее перспективные «потомки» сохранят блочное построение и с более совершенными двигателями приумножат славу одной из самых удачных ракет-носителей в истории космонавтики. Не меньшее восхищение вызывает стартовое устройство, поставившее гравитацию на службу надежности и безопасности, освобождающее взлетающую ракету с минимальным риском отказа.

Институт продолжает вести значительные работы как по разработке модернизированных СУРТ на базе БЦВМ – для модернизации ракеты-носителя «Союз-2», так и по сопровождению сегодняшних вариантов ракеты Р-7.

Терминальное управление разрабатывалось в Институте также при решении задач сближения космических кораблей, мягкой посадки на безатмосферную планету, выведения баллистических ракет и др. Результаты нашли применение в реальных системах. Так, в 1966 г. была совершена мягкая посадка автоматической межпланетной станции «Луна-9» на поверхность спутника Земли. За участие в этой миссии академик Б. Н. Петров был удостоен Ленинской премии.

Обращаясь к ретроспективе работ в области космонавтики, нельзя не отметить, что Институт разделял с главными ракетчиками страны не только яркие удачи, такие, как первый спутник Земли, полет Ю. А. Гагарина, создание МБР С. П. Королевым, М. К. Янгелем, В. Н. Челомеем, В. Ф. Уткиным (в том числе МБР, названной потенциальными противниками «сатаной»), но и горестные неудачи, такие, как закрытие лунной программы Н-1, отставшей от американской программы «Апол-

лон», и трагические события октября 1960 года на Байконуре, когда при взрыве на старте ракеты Р-16 погибли многие наши друзья и коллеги по работе. Только случайно сотрудники Института, будучи на работе на Байконуре, не оказались в числе пострадавших.

За истекшие полвека совместно с промышленными организациями создано свыше 30-ти терминальных СУРТ для всех крупных жидкостных ракет, начиная с легендарной «семерки» С. П. Королева, и до перспективных проектов космических ракет-носителей. Выполняя эти работы, Институт участвовал как в создании ракетно-ядерного щита страны, так и в научных программах исследования космоса.

Сотрудники лаборатории, выполнившие описанные выше работы, получили 26 правительственных наград – орденов и медалей, в том числе пять знаков лауреата Государственной премии СССР (один сотрудник был удостоен этого звания дважды).

В эпоху расцвета работ в области ракетостроения и космонавтики в СССР с финансированием Института в этой части проблем не возникало. В последние годы, как и везде, резко сократились бюджетные ассигнования на эти работы. Они продолжают и развиваются в основном за счет хозяйственных контрактов с промышленными организациями.

ОБ ОТКАЗОУСТОЙЧИВЫХ АЛГОРИТМАХ УПРАВЛЕНИЯ

Проблема надежности бортовых систем управления и безопасности управляемых объектов родилась вместе с рождением самих систем и объектов. В первые годы работы в области космонавтики Институт в основном работал над принципами построения систем и исследованием их динамики и точности. Полагалось, что чем меньше элементов содержит система и чем надежнее элементы, тем выше и надежность системы в целом. Организации, реализующие системы, использовали проверенные опытом ранее созданные системы и применяли методы аппаратного резервирования – дублирования, мажоритирования и т. п.

В последние десятилетия Институт, кроме участия в создании систем управления силовой группы ракет-носителей в основном при работе их в нормальном, номинальном режиме, уделял серьезное внимание работе систем при отказах в аппаратуре, т. е. в нештатных ситуациях. Имеется в виду как исследование аномальных процессов в системах при нештатной ситуации, так и изыскание принципов парирования влияния отказов в аппаратуре системы оценением состояния и последующей реконфигурации системы. Предполагалось,

что реализованная реконфигурация при нештатной ситуации предохранит систему и, следовательно, объект управления от аварии. Реконфигурация за счет изменений в аппаратуре требует применения приборного резервирования, что влечет за собой рост аппаратного состава со всеми последствиями – ростом сложности, габаритов, массы, энергопотребления и т. п.

Выдвинутая Институтом применительно к разрабатываемым бортовым системам идея отказоустойчивых алгоритмов управления решает задачу требуемой реконфигурации лишь путем перестройки алгоритма управления, без избыточности аппаратуры. Она нашла широкое применение в бортовых системах, разработанных с участием Института.

Идеология алгоритмической отказоустойчивости относится к универсальным положениям, применимым во всех отраслях техники управления [10, 11].

ПРОБЛЕМА БЕЗОПАСНОСТИ И УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ

Современные крупномасштабные технические системы при их эксплуатации, наряду с достоинствами, заложенными в них авторами, в ряде случаев проявляют опасные свойства. Новые объекты, еще не выявившие все свои особенности, подчас выходят из-под контроля человека-пользователя, что в предельных случаях приводит к авариям и катастрофам, нередко со значительным ущербом.

С развитием техносферы растет число потенциально опасных систем и увеличивается вероятность возникновения аварийных ситуаций. Техногенные катастрофы стали знаменем века, особенно второй его половины. Чернобыльская катастрофа, ряд аварий на АЭС меньшего масштаба; трагедия в Бхопале (Индия) на химическом комбинате в 1984 г., унесшая тысячи жизней, и др.

В ракетно-космической технике наиболее тяжелы взрывы «Челленджера» и «Колумбии», катастрофа ракеты Р-16 и гибель при этом многих людей. С большими материальными потерями случились аварийные взрывы ряда крупных космических ракет-носителей в Китае, Франции, России. Человеческие жертвы, экономический, экологический и моральный ущерб сопутствовали этим несчастьям. Кроме того, в условиях рыночной конкуренции средств выведения упал рейтинг «провинившихся» ракет, расторгались выгодные контракты, возникали жесткие страховые ситуации. Люди понимали, что требуется приложить огромные усилия, чтобы резко снизить уровень опасности и не давать ей развиваться. В обиходе техники появилось понятие «риск». Возникла потребность в новой научной дисциплине – управлении риском в жизненном



цикле сложных технических систем, в частности, космических объектов — ракет-носителей. Эта дисциплина ставит много проблем управления и готова впитать в себя уже полученные и развиваемые результаты теории управления [12].

Как всякая новая научная дисциплина, управление риском находится в стадии поиска. Нарастающее количество публикаций говорит о довольно широком охвате теоретических и практических сторон проблемы. Известны работы Л. Тадемана, Д. Мартино, ряд докладов на 13-ом Всемирном конгрессе ИФАК, работы академиков К. В. Фролова, Н. А. Махутова и др.

Институт регулярно проводит конференции по проблеме управления безопасностью сложных систем. Математические подходы к управлению риском, основанные на идеях нелинейной динамики, развиваются Г. Г. Малинецким. Известны работы В. В. Кульбы, Б. Г. Волика, В. Н. Буркова и др. В работах В. Ф. Уткина, Ю. Г. Будылова, Ю. А. Соколова и В. А. Чалого-Прилуцкого исследуется широкий круг задач, связанных с риском в космонавтике.

В Институте первые фрагменты работы по управлению безопасностью (риском) в жизненном цикле сложных технических систем относятся, главным образом, к объектам класса ракет-носителей и стартовым комплексам. Выполнялись они в контакте с группами академиков К. В. Фролова и В. Ф. Уткина, начиная с середины 1990-х гг.

Институт все большее внимание уделяет проблеме безопасности, управления риском.

Безопасность — это свойство объекта не входить в состояния, опасные для собственно объекта, людей и окружающей среды. Мерой безопасности может служить риск. Понятие риска и его особенности будут рассмотрены ниже. Безопасность объекта непосредственно связана с его надежностью, вероятностью появления отказов. Но, кроме того, для оценки безопасности объекта необходимо проанализировать их влияние на функционирование объекта, выявить критические, опасные режимы и определить ущерб, наносимый неблагоприятным режимом.

Повышение безопасности объекта достигается не только совершенствованием отказоустойчивости и надежности, но и путем создания изделий с внутренней присущей им безопасностью.

Свойство внутренней безопасности может придаваться объекту путем выбора таких принципов действия и технологий его изготовления и использования, которые исключают применение опасных процессов и веществ и снижают энергонасыщенность объекта.

Последнее положение полностью не подходит к объектам типа ракет-носителей, несущих огром-

ный запас высокоэнергетических и часто токсичных компонентов топлива, питающих чрезвычайно напряженный энергетически и термически ЖРД и обладающих громадной кинетической энергией в полете.

Поэтому управление безопасностью таких объектов требует самого пристального внимания и изыскания новых подходов к построению его систем и объекта в целом.

РИСК КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

Существует большое число разновидностей определения понятия «риск». Есть предположение, что оно имеет испанское происхождение: *risco* — скала (возможно, таящая опасность). По Далю, *риск* — действие наудачу. В математической теории управления *риск* — любая функция, которая может служить мерой качества управления. При обсуждении проблем безопасности риск — мера опасности. Риск представляет собой сочетание возможности опасности с размером негативных последствий проявившейся опасности. В качестве негативных последствий принимают ущерб, нанесенный человеку, техническому объекту, окружающей среде. Риск сочетает в себе вероятность неблагоприятного события и размер этого события (ущерб, потери, финансовые убытки). Варьируя и комбинируя вероятность и ущерб, оценивают уровень опасности и принимают решение по управлению риском.

Оценивая вероятность и ущерб некоторыми элементарными мерами, определим, что комбинация этих мер является мерой опасности, называемой риском. В проблеме управления безопасностью риск фигурирует как виртуальный объект управления, но истинным объектом управления является собственно технический объект, создаваемый или эксплуатируемый.

КОНЦЕПЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ РИСКОМ В ЖИЗНЕННОМ ЦИКЛЕ ОБЪЕКТА

Концепция управления риском (безопасностью) в жизненном цикле объектов ракетно-космической техники исходит из приоритета критерия безопасности, учитывающего техногенную, социально-экономическую и экологическую составляющие риска. Разработаны нетрадиционные варианты облика ракеты, повышающие собственную безопасность объекта, методы придания гибкости и устойчивости функционированию объектов при отказах, в неблагоприятных из-за внешних воздействий ситуациях, развит терминально-эволюционный подход к управлению технологией создания безопасных объектов.

Охват согласно излагаемой концепции управления всех этапов жизненного цикла позволяет наиболее полно использовать возможности управляющих воздействий и рационально распределять управление по этапам. Так, например, в ракетно-космической технике в наше время преобладающую долю операций, повышающих надежность и безопасность объекта и его составляющих, выполняют в наземных и стендовых условиях. Опыт показал, что по сравнению с прежними принципами отработки, с преобладанием летных испытаний, требуемая надежность и минимальный риск достигаются при числе пусков почти на порядок меньше. Как правило, при этом сокращается полное время, а в ряде случаев и стоимость создания объекта.

Стержнем предлагаемой концепции является выбор безопасности как основного критерия в процессе создания и эксплуатации объекта. Разумеется, другие критерии, такие, как стоимость объекта, его эксплуатационные характеристики (например, грузоподъемность, темп подготовки к пуску) также принимаются во внимание. Но все же главным остается минимизация опасности эксплуатации объекта для жизни людей и сохранности природной среды.

Естественно, что другие показатели объекта могут при этом потерпеть ущерб.

НОВЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ПНЕВМОГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОДАЧИ ТОПЛИВА

В силовой цепи жидкостной ракеты важную роль играет так называемая система подачи топлива. Она регламентирует подачу компонентов топлива из баков на входы в насосы ЖРД. До сего дня системы такого назначения строятся, в основном, на основе пневмогидравлических элементов и называются пневмогидравлическими системами подачи (ПГСП). Центральная задача ПГСП – управление давлением наддува топливных баков, которое необходимо выдерживать в достаточно узком коридоре. Верхняя граница коридора определяется механической прочностью материала стенок и устойчивостью тонкостенного бака в целом лишь при достаточном давлении внутри него. Нижняя граница определяется необходимостью поддерживать антикавитационный режим, требующий достаточно высокого давления на входе в насосы ЖРД. Кавитация ведет к аварии ЖРД.

Управление наддувом является программным, так как по мере расходования топлива увеличивается объем «подушки» – объема газа над поверхностью жидкости. Кроме того, при формировании траекторий космического полета приходится не один раз включать и выключать ЖРД. Работа сис-

темы наддува сопровождается теплообменом между ее элементами, химическими процессами при контакте газа с жидкостью, диффузией, испарением и др.

В составе всех существующих жидкостных ракет ПГСП содержит контрольную и управляющую части одного типа. Это сигнализаторы давления порогового типа, электропнеumo- и пироклапаны, пневморегуляторы и дренажно-предохранительные клапаны. В совокупности эти элементы образуют управляющую систему прерывистого действия. Недостаток ее состоит в сложности и ограниченных возможностях перестройки программы работы при изменении режима ЖРД в полете. Кроме того, системы полетной диагностики существующих ПГСП неэффективны в должной мере, что снижает надежность и безопасность ракеты.

Процессы поддержания давления наддува в такой релейной системе носят колебательный характер, что снижает надежность электропневмоклапанов и качество регулирования. Снять эти недостатки в применяемом наборе элементов очень сложно.

Учитывая, что, начиная с 1960-х гг., бортовые системы управления движением реализуются на цифровой технике, и БЦВМ достигли высокого совершенства функционирования и программной надежности, представляется своевременной и рациональной реализация ПГСП средствами цифровой техники.

В Институте совместно с Центром им. Хруничева выполнена работа по построению новых технологий систем подачи топлива [13]. Алгоритмы управления реализуются на БЦВМ, применяются новые элементы в измерительном тракте системы – непрерывные датчики давления для измерения давления в подушках и в шаробаллонах с гелием. В качестве исполнительных органов применяются непрерывные (или дискретные с малой дискретностью) регуляторы расхода рабочего тела (гелия). Новшества дают ряд преимуществ. Через БЦВМ осуществляется единение с бортовым комплексом управления. В работе [13] дано развернутое описание структуры и преимуществ цифровой ПГСП, характеристик объекта управления, методики синтеза и анализа алгоритмов системы с приданием им свойства отказоустойчивости, а также рассмотрены алгоритмы фильтрации, выбор закона управления наддувом, параметры системы и вопросы диагностики отказов в системе.

Примененная впервые для реализации ПГСП бортовая ЦВМ и новые элементы системы (датчики давления непрерывного типа, непрерывные исполнительные устройства) позволяют повысить качество регулирования. Возможность бортовой диагностики, сокращение числа срабатываний электропневмоклапанов и отказоустойчивость алгоритмов



повышают надежность системы и благоприятно влияют на безопасность ракеты-носителя.

Новые технологические решения ПГСР с опорой на применение БЦВМ знаменуют переход к новому поколению систем подачи топлива в ЖРД и рекомендуются для внедрения в двигательных установках перспективных ракет.

Отметим, что методика компьютерной отработки системы ПГСР и применение аналогово-цифрового комплекса сокращают цикл создания системы и объем натурной отработки на стендах и в полете. Это соответствует духу времени в подходе к отработке ракет [14].

Наиболее важным результатом по разработке новых технологий создания систем подачи топлива в ЖРД следует считать повышение безопасности носителя и снижение риска аварий в нештатных ситуациях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Опыт, накопленный в течение полувека работы в области практической космонавтики, позволил Институту участвовать во многих важнейших проектах и разработках для объектов племды отечественных конструкторов-первопроходцев — С. П. Королева, М. К. Янгеля, В. Н. Челомея, В. Ф. Уткина, Д. И. Козлова, Н. А. Пилюгина и др.

Институт продолжает и развивает эти работы, активно участвуя в совершенствовании новых перспективных ракет-носителей — повышении их энергетических характеристик и безопасности и, как следствие, повышении рейтинга отечественных ракет-носителей на коммерческом рынке выведения на космические орбиты полезных нагрузок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Петров Б. Н., Портнов-Соколов Ю. П., Михайлов Н. Н., Пустошкина М. В. Автоматическое регулирование ЖРД. Отчет по НИР. — М.: ИАТ АН СССР, 1951.

2. Портнов-Соколов Ю. П. Мощная жидкостная ракетная двигательная установка как объект регулирования и разработка рациональных методов ее автоматического регулирования: Дисс канд. техн. наук. — М.: ИАТ АН СССР, 1954.
3. Портнов-Соколов Ю. П., Присс Г. М. Предыстория бортового комплекса систем управления ракеты Р-7 // Автоматика и телемеханика. — 1999. — № 6.
4. Портнов-Соколов Ю. П. Принципы построения и этапы создания энергоповышающей системы управления расходом топлива (СОБИС) ракеты-носителя Р-7 // Сб. науч. тр. Ин-та истории естествознания и техники РАН. — М., 1998. — С. 31–42.
5. Андриенко А. Я., Балакин С. В., Ломтев С. М., Портнов-Соколов Ю. П. Проблема измерения уровня топлива на борту жидкостной ракеты // Датчики и системы. — 2003. — № 6.
6. Завадский В. К., Иванов В. П., Портнов-Соколов Ю. П., Учайкин Н. Н. Бортовая система измерения давления повышенной точности // Датчики и системы. — 2002. — № 12.
7. Petrov B. N., Portnov-Sokolov Yu. P., Andrienko A. Ya. Control aspects of efficient rocket propulsion systems // Acta Astronautica. — 1977. — Vol. 4, № 11–12.
8. Петров Б. Н., Портнов-Соколов Ю. П., Андриенко А. Я., Иванов В. П. Бортовые терминальные системы управления (принципы построения и элементы теории). — М.: Машиностроение, 1983.
9. Королев С. П. Творческое наследие. Избранные труды и документы. — М.: Наука, 1980. — С. 362.
10. Волков В. Я., Гладков Ю. М., Завадский В. К., Иванов В. П. Принципы и алгоритмы определения оксигинации по измерениям пульсоксиметра // Медицинская техника. — 1993. — № 1. — С. 16–21.
11. Волков В. Я., Гладков Ю. М., Завадский В. К., Иванов В. П. Повышение достоверности и точности пульсоксиметрии путем использования встроеной экспертной системы // Медицинская техника. — 1993. — № 13. — С. 14–18.
12. Портнов-Соколов Ю. П. Управление риском — приоритетная дисциплина теории управления XXI века // Датчики и системы. — 2003. — № 11.
13. Гордеев В. А., Жуков В. А., Завадский В. К., Иванов В. П., Портнов-Соколов Ю. П. Новые технологии построения пневмогидравлических систем подачи топлива в ЖРД // Датчики и системы. — 2002. — № 9.
14. Недайвода А. К. Теоретические основы натурной отработки ракет-носителей. — С.-Пб.: Политехника, 1996.

☎ (095) 334-87-60

■ (095) 334-88-71



ABSTRACTS

Portnov-Sokolov Yu. P.

SOME WORKS IN ASTRONAUTICS PERFORMED AT THE INSTITUTE OF CONTROL SCIENCES — A BRIEF SURVEY

The paper overviews the formation and development of the Institute's works on liquid-propellant engines as control plants, terminal systems of propellant control for liquid-propellant missiles, and new technologies of propellant feed systems. The problem of missile and space objects safety and risk control in the life cycle of this class of systems is considered. — P. 66.

ТРЕТИЙ СЕМИНАР ИФАК «АВТОМАТИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ В РАЗВИВАЮЩИХСЯ СТРАНАХ (ЗНАНИЯ И ТЕХНИКА)»

Семинар состоялся в Стамбульском техническом университете (ITU), Турция, с 26 по 28 июня 2003 г. Международный программный комитет семинара возглавляли два сопредседателя: проф. А. Т. Динибутун (А. Т. Dinibutun, Турция) и проф. Г. М. Димировский (G. M. Dimirovski, Македония, Турция). Национальный организационный комитет возглавляли два сопредседателя: проф. А. Бир (А. Bir, ITU) и проф. И. Эксин (I. Eksin, ITU).

Семинар спонсировали: ИФАК, Технический комитет (ТК) ИФАК по развивающимся странам (GEA), Научно-технический совет Турции (TUBITAK), Университет Турции (DOU), Стамбульский технический университет (ITU), Проект Европейского Союза MathIND (EU MathIND Project).

В спонсировании семинара приняли участие: ТК ИФАК по управлению образованием (GEE), ТК ИФАК по дискретным динамическим системам (SSD), ТК ИФАК по составлению математических моделей и управлению системами окружающей среды (LE), ТК ИФАК по робототехнике (MIR), ТК ИФАК по активизации процессов автоматизации (GES), ТК ИФАК по отысканию путей обеспечения международной стабильности (SMW), ТК ИФАК по транспорту (TVT).

В течение последних лет в силу своей ответственности за социальное развитие общества ИФАК организовал новую серию профессиональных и научных встреч, которые являются отражением появления исторических процессов глобализации и их воздействия на экономику, общество и мировую технику всех стран в целом, включая развивающиеся и малые страны, в частности.

Идея организации серий конференций по техническому развитию в развивающихся странах была инициирована в Стамбуле во время ежегодного совещания ТК ИФАК по развивающимся странам (DECOM) в Турции в июле 1997 г. Первая конференция DECOM-ТТ 2000 состоялась в Южно-Африканской Республике 5–7 июля 2000 г. Вторая конференция DECOM-ТТ 2001 состоялась в Охриде, Македония, в 2001 г. Именно эта конференция стала отправной точкой включения в программу мероприятий ИФАК серии конференций по развивающимся странам, вылившаяся в 2003 г. в Третий семинар ИФАК DECOM-ТТ 2003.

Программа семинара включала в себя четыре пленарные сессии с четырьмя пленарными докладами и 18 регулярных сессий с 59-ю регулярными докладами.

В процессе семинара состоялось заседание ТК ИФАК по развивающимся странам. Заседания технических комитетов ИФАК являются принципиально открытыми, поэтому каждый участник семинара имел возможность принять участие в этом заседании.

Теперь несколько слов о научной и прикладной составляющих семинара. Конечно, пленарные доклады были наиболее интересными и привлекли наибольшее внимание.

В пленарном докладе «Активные системы – вызов современной технике» («Active Systems – a Challenge of Contemporary Engineering») его автор, М. К. Вукобратович (М. К. Vukobratovic, Сербия и Черногория), пытается про-

типовопоставить активные системы современной технике. Под современной техникой автор имеет в виду пассивные системы, которые ограничены в возможности генерировать адекватные силы противодействия в реакции на локальное относительное движение. В таких системах не предусмотрены меры предотвращения возможных энергетических ослаблений и разрушений, которые в определенных случаях или под действием экстремальных условий могли бы стать катастрофическими.

Активные системы обладают гидравлическими, пневматическими, электромеханическими или магнитными исполнительными устройствами; датчиками: акселерометрами, измерителями сил, потенциометрами и регуляторами обратной связи. В совокупности такие устройства позволяют сформировать команды управления на исполнительные устройства. Активные системы имеют множество преимуществ (автор в докладе их перечислил), однако имеются и очевидные недостатки: сложность, необходимость приборного состава, расходы на поддержку функционирования.

В докладе рассмотрено несколько конкретных примеров активных систем и показаны преимущества, полученные при переходе от пассивных систем к активным. В частности, рассмотрены адаптивная активная система контроля шума, активное демпфирование с помощью силовой обратной связи, активная система управления вибрацией и др.

Пленарный доклад А. Л. Фрадкова (Россия) «Применение теории управления в физике: от управления хаосом к квантовому управлению» был посвящен обзору взаимопроникновения теоретической физики и теории управления. Автор отмечает, что до 1990-х гг. такое взаимопроникновение было слабым. Значительный поток работ на границе между физикой и управлением начинается с вопроса синхронизации хаоса. В 1990 г. Е. Оттом (E. Ott), К. Гребоди (C. Grebodi) и Дж. Йорком (J. Yorke) было обнаружено, что даже весьма слабое воздействие с помощью обратной связи может существенно изменить поведение нелинейной системы, т. е. изменить хаотическое движение на периодическое и наоборот. Целью киберфизических исследований является изучение физической системы на основе управления ее движением.

Автор проделал анализ более 2000 работ, опубликованных в рецензируемых журналах по управляемому хаотическому поведению в 1990–2000 гг. На основе этого анализа в докладе определяется и анализируется предмет и методология кибернетической физики.

Пленарный доклад Г. М. Димировского (G. M. Dimirovski, Македония, Турция), Ян-Вей Джинга (Yuan-Wei Jing, Китай), Джун Дзао (Jun Zhao, Китай) и Си-Винг Джанг (Si-Ying Zhang, Китай) носил название «Композитные системы управления, основанные на объединении математико-аналитических и вычислительных подходов систем с нечеткой логикой и нейронных сетей» («Composite Systems Control by Combined Math-Analytical and FS/NN Computing Approach»). В докладе сделана попытка предложить инженерный подход к синтезу системы управления на основе



двухуровневой структуры, причем на каждом уровне предлагается свой самостоятельный формализм представления системы, основанный на новейших достижениях теории управления. Такой подход выявляет две альтернативные процедуры синтеза системы. Одна из них основана на применении нечеткой логики и решении адаптивных задач слежения выхода системы за заданными входными сигналами. Вторая – на уравнениях состояния композитных систем и применении нейронных сетей при наличии неопределенности и построении адаптивного управления. Обе эти методологии могут быть воплощены в рамках стандартной техники компьютерного управления.

Пленарный доклад *В. Ю. Рутковского, С. Д. Землякова, В. М. Суханова и В. М. Глумова* (Россия) «Об одном подходе к увеличению степени безопасности функционирования средств воздушного и морского транспорта» был посвящен новому подходу к мониторингу технического состояния энергетических блоков авиационных и морских двигателей. В докладе представлены результаты по выводу математической модели движения трансмиссии турбовинтовых авиационных двигателей. Рассматривается и решается проблема идентификации крутящего момента турбины с целью его использования при совершенствовании системы управления двигателем и (или) для контроля за степенью усталости материала валов трансмиссии. Основная идея подхода, рассматриваемого в докладе, заключается в оценке угла закручивания вала, появляющегося в результате его конечной кругливой жесткости. Для оценки угла закручивания предлагается специальный алгоритм.

Почти все 59 регулярных доклада оказались очень интересными. Действительно, достаточно только перечислить названия регулярных секций: Автоматизация производства, Транспортные системы, Робототехнические системы, Сервисные системы водоснабжения и сточных вод, Технологии развития менеджмента, Методологии аналитического синтеза систем управления, Управление образованием и повышением квалификации, Системы сервисного обслуживания зданий, Методологии интеллектуальных систем с нечеткой логикой, Электрические энергетические системы, Автоматизация и управление энергетическими объектами, Диагностика и управление, Системы принятия решений и менеджмент, Прикладные системы различного назначения, Методологии интеллектуальных нейронных сетей, Управление развитием индустрии, Телекоммуникация.

Интересный доклад был представлен *Дж. Кламка* (*J. Klamka*, Польша) под названием «Управляемость нелинейных систем» («Controllability of Nonlinear Systems»). В докладе рассмотрены непрерывные бесконечномерные системы, описываемые нелинейными дифференциальными уравнениями. На основе функционального анализа автор формулирует и доказывает достаточные условия локальной управляемости. Приводится иллюстративный пример. Доклад интересен комментариями автора по проблеме управляемости нелинейных динамических систем.

Основная цель доклада «Сравнение метода синтеза на основе моментов с процедурой синтеза на основе метода H_∞ » («Moments Based Synthesis Approach Comparison with H_∞ Design»), представленного *А. Бентайеб* (*A. Bentayeb*, Франция), *Н. Маамри* (*N. Maamri*, Франция), *Д. Меди* (*D. Mehdi*, Франция) и *Л. Рамбо* (*L. Rambault*, Франция) – синтезировать регулятор, который обеспечивает те же самые динамические показатели, несмотря на отличие между номинальным и реальным объектом. В процедуре синтеза регулятора на основе моментов необходимо выбрать соответствующую эталонную модель. Подход к синтезу регулятора на основе H_∞ приводит к формированию весовых функций. На конкретном примере показано, что

оба эти метода эквивалентны: для одних и тех же требований к динамическим характеристикам системы оба метода привели к аналогичным регуляторам.

М. Дж. Амери (*M. J. Ameri*, Иран) и *М. Кабганиан* (*M. Kabganiyan*, Иран) представили доклад под названием «Новый подход к адаптивному управлению космическим аппаратом с нестационарными неопределенностями математической модели» («A Novel Approach to Switching Adaptive Control of a Spacecraft with Time-Varying Uncertainties»). В нем предложена новая схема адаптивного управления для нелинейного объекта, математическая модель которого содержит нестационарные неопределенности с неизвестными границами, однако рассматривается специальный случай, когда неопределенности во времени изменяются по экспоненциальному закону. Закон управления объектом и алгоритм изменения параметров этого закона получены на основе прямого метода Ляпунова, гарантирующего асимптотическую сходимость ошибок слежения к нулю. Эффективность предлагаемых схем подтверждена результатами математического моделирования.

В докладе «Робастное управление на основе сочетания H_2/H_∞ -методов» («Robust Mixed H_2/H_∞ Optimal Controller Design»), представленном *Я. Аюдин* (*Y. Aydin*, Турция), рассмотрена проблема синтеза обратной связи для управления объектом на основе сочетания H_2 - и H_∞ -подходов с ограничениями на расположение полюсов системы. Проблема синтеза регулятора решается на основе линейных матричных неравенств.

Несмотря на интересные теоретические доклады (например, упомянутые выше), большинство докладов семинара были посвящены прикладным проблемам, более точно, проблеме, которую можно было бы сформулировать так: каким образом новые теоретические результаты теории управления последних лет можно применить к решению практических задач. Чтобы убедиться в этом, достаточно взглянуть на названия докладов. Например, доклад *Г.-Г. Эрбе* (*H.-H. Erbe*, Германия) «Производство с автоматизацией малой стоимости» («Manufacturing with Low Cost Automation»); доклад *Д. Сундел* (*D. Sindel*, Турция) «Управление движением надводного транспорта по Босфору – подход на основе экспертной системы» («Vessel Traffic Management on Bosphorus – An Expert System Approach»); доклад *В. Сгурева* (*V. Sgureva*, Болгария) и *М. Хаджиски* (*M. Hadjiski*, Болгария) «Внесение элементов интеллектуального управления в процессе реконструкции объектов тепловой энергии» («Intelligent Control Integration in Thermal Power Plants Rehabilitation»); доклад *Ф. Калискан* (*F. Caliskan*, Турция) и *Ч. Хаджиева* (*Ch. Hajiyev*, Турция) «Обнаружение отказов в приводах и управлении реконфигурацией для модели самолета F-16» («Actuator Failure Detection and Reconfigurable Control for F-16 Aircraft Model») и т. д.

Представляется, что изложенная информация вполне достаточна, чтобы привлечь внимание к Третьему семинару ИФАК DECOM-TT 2003. Сборник докладов семинара доступен, например, через русских участников: *А. Л. Фрадков*, Институт проблем машиностроения РАН, Санкт-Петербург, fax: (812) 321-47-66, e-mail: alf@ccsl.ipme.ru; *В. Ю. Рутковский, С. Д. Земляков, В. М. Суханов, В. М. Глумов*, Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, Москва, Профсоюзная ул., 65, тел.(095) 334-87-30, e-mail: rutkov@ipu.rssi.ru; zempl@ipu.rssi.ru; suhv@ipu.rssi.ru; vglum@ipu.rssi.ru.

С. Д. Земляков

☎ (095) 334-87-30

E-mail: zempl@ipu.rssi.ru



КОНФЕРЕНЦИЯ «ВОСТОК – ЗАПАД: ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ УСТРОЙСТВ» (EAST – WEST DESIGN & TEST CONFERENCE)

7–21 сентября 2003 г. в Крыму, в Алуште, Харьковским национальным университетом радиоэлектроники (бывший ХИРЭ) была организована первая в СНГ международная конференция, почти полностью посвящённая вопросам диагностирования и тестопригодного проектирования современных цифровых устройств.

Конференция проходила в комфортабельном санатории-отеле «Дубна», принадлежащем Объединённому институту ядерных исследований в подмосковной Дубне. Отель в очень хорошем состоянии, недорогой и с замечательным обслуживанием. Институт проблем управления принимал участие в работе Оргкомитета, но, надо сказать, харьковчане самостоятельно проделали большую и трудную работу, основная тяжесть которой пала на плечи проф. *В. И. Хаханова*. Большую помощь в организации «западной» части конференции оказал *Р. Убар*, профессор Таллиннского технического университета, выпускник «наших» школ по технической диагностике.

На конференции планировалось собрать довольно узкий круг, около 40 чел., ведущих специалистов – половина из СНГ, в основном из России, Украины и Белоруссии и половина из западных по отношению к ним стран: США, Англии, Франции, Германии, Италии, Швеции, Польши, Чехии, Словакии, Эстонии, Литвы. Из стран СНГ приехало больше намеченной квоты, но все были радушно приняты.

Конечно, эта конференция отличалась от феерических школ-семинаров и Всесоюзных конференций по технической диагностике и отказоустойчивости, проводимых ранее в СССР под руководством чл.-корр. РАН *П. П. Пархоменко* с 1968 по 1993 гг. Воспоминания о них до сих пор живы у всех участников из бывшего СССР, но прошедшие трудные времена ещё раз показали, что в науке расслабляться нельзя, коллеги могут уйти далеко вперёд, а быть всё время в роли догоняющего – мало приятно.

Проблемы диагностирования и тестопригодного проектирования вот уже 30 лет не теряют своей актуальности. В частности, и в силу своей исключительной трудности решения. Оптимизация генерации тестов, оценка их полноты, встроенные системы самотестирования, проблемы верификации проектируемых систем в финансовом отношении поглощают более 40% стоимости разработки новых изделий. Здесь есть где развернуться всем – от математиков до экономистов и организаторов производства. Сейчас владение знаниями и технологиями, связанными с тестово-диагностическими проблемами, составляют одно из главных «ноу-хау»

фирм-производителей. И все детали этих знаний держатся в большом секрете от конкурентов и фирм, занимающихся «клонированием». Последним трудно выдержать конкуренцию по качеству без этих знаний.

Наши западные коллеги привезли с собой много постановочных лекций, как принято говорить в народе «туториалов». И, на мой взгляд, честно говоря, они не очень представляли, какой огромный запас знаний и потенциал сохранился у тех специалистов, которые прошли горнило наших школ-семинаров по технической диагностике. Это лишь раз подчёркивает большое значение и абсолютную необходимость поддержки научных школ как питомников по выращиванию знаний и воспитания нового научного поколения.

Работа конференции проходила последовательно в четырёх секциях. В секции «Современные методы тестирования и тесты, ориентированные на классы дефектов» доминировали представители западной школы из Франции, Германии, Польши, Чехии, США, Швеции, Словакии, Литвы. В секции «Генерация тестов и моделирование неисправностей» много интересных докладов было из СНГ: из Владивостока, Саратова, Томска, Харькова, Донецка, Владимира. Давно и плодотворно этими проблемами занимаются в Эстонии. На секции «Встроенные системы и отказоустойчивость» выступили исследователи из Харькова, Одессы, Москвы, Киева, Праги. Около десяти докладов было заслушано на секции «Проектирование и верификация». Здесь доминировала молодёжь из Харьковского университета радиоэлектроники. Трудно в коротком информационном обзоре отразить многообразие и специфику подходов к решению проблем диагностирования современных систем, я могу только сказать, что с интересом слушал большую часть докладов, открывая для себя ещё малознакомое мне или удивляясь фантазии и проницательности отдельных выступающих.

В силу международного статуса конференции почти все доклады представлялись на английском языке, и, надо сказать, наша молодёжь преуспела в этом, что радует.

Участники конференции с большим интересом ознакомились с номерами нового научно-технического журнала «Проблемы управления».

Решено проводить эту конференцию ежегодно, в те же сроки и в разных уголках побережья Крыма.

М. Ф. Каравай

☎ (095) 334-77-39

E-mail: mkaravay@ipu.rssi.ru

