

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

УЧРЕДИТЕЛЬ

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

Главный редактор

И.В. Прангисвили

**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/ru

Оригинал-макет
и электронная версия
подготовлены ООО «АКИМ»

Отпечатано в типографии
ООО «ЭЛИТ-ЮТЕРНА»

Подписано в печать
21.07.2003 г.

Заказ № 04/07

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

2.2003

СОДЕРЖАНИЕ

Общие вопросы теории управления

- Рутковский В.Ю., Земляков С.Д., Суханов В.М., Глумов В.М.
Некоторые новые направления развития теории и применения
адаптивного координатно-параметрического управления 2

Управление технологическими процессами и предприятиями

- Прангисвили И.В., Амбарцумян А.А., Полетыкин А.Г.,
Гребенюк Г.Г., Ядыкин И.Б. Состояние уровня автоматизации
энергетических объектов и системотехнические решения,
направленные на его повышение 11

Моделирование систем

- Дургарян И.С., Пащенко Ф.Ф. Сложные статистические
критерии и модели, оптимальные на классе критериев 27
- Копнин М.Ю., Кульба В.В., Микрин Е.А. Применение языка сетей
Петри в системах сетевого планирования и управления
при дефиците ресурсов 35

Проблемно ориентированные системы управления

- Дартау Л.А. Теоретические аспекты управления здоровьем
и возможности его реализации в условиях Российской Федерации 43
- Шубин А.Н., Пелихов В.П. Задачи оптимизации медиапланирования
в информационном управлении 53

Управление социально-экономическими системами

- Прангисвили И.В., Островский Ю.И. Увеличение платежеспособного
спроса населения на товары отечественного производства
путем использования внутренних платежных средств 56

Хроника

- Вторая международная конференция по проблемам управления 60

УДК 62-50

НЕКОТОРЫЕ НОВЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ТЕОРИИ И ПРИМЕНЕНИЯ АДАПТИВНОГО КООРДИНАТНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ¹

В.Ю. Рутковский, С.Д. Земляков, В.М. Суханов, В.М. Глумов

Рассмотрены истоки возникновения принципов адаптивного и координатно-параметрического управлений. Объяснена сущность этих принципов. Проанализированы теоретические подходы к решению проблем адаптивного координатно-параметрического управления. Названы причины появления новых проблем в рассматриваемом классе современных систем управления и приведены некоторые результаты их решения.

1. ИСТОКИ ВОЗНИКНОВЕНИЯ ПРИНЦИПОВ АДАПТИВНОГО И КООРДИНАТНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЙ

При построении систем управления основное внимание уделяется принципу обратной связи. Структурную схему системы управления можно представить в виде, показанном на рис. 1, где $g(t)$ – вектор управляющих воздействий, подаваемых на систему; $f(t), \xi(t)$ – векторы возмущений, действующих, соответственно, на объект и регулятор. Знак вопроса означает, что регулятор необходимо синтезировать так, чтобы в системе выполнялись заданные требования на движение объекта, например, чтобы между выходом объекта $y(t)$ и управляющим воздействием $g(t)$ поддерживалось соотношение вида

$$y(t) = F(g(t), t) \quad (1)$$

с заданной степенью точности, несмотря на действие неизмеряемых возмущений $f(t), \xi(t)$. Для решения этой задачи требуется знание математической модели (ММ) объекта.

Математические модели объектов управления составляются в соответствии с физическими законами их движения и, как правило, являются нелинейными и нестационарными. Например, в форме дифференциальных уравнений ММ объекта можно представить в виде

$$\begin{aligned} \frac{dx}{dt} &= X(x, u, t), \\ y &= Y(x, u, t), \quad x(t_0) = x_0, \end{aligned} \quad (2)$$

¹ Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 03-01-00062) и Программы фундаментальных исследований отделения ЭММПУ РАН (проект № 14).

где t – время; $x \in R^n$ – вектор состояния; $u \in R^m$ – вектор управления движением объекта; t_0 – начало рассмотрения ММ вида (2); $X(\cdot), Y(\cdot)$ – векторы, компоненты которых составляют, в общем случае, нелинейные нестационарные функции соответствующих аргументов.

Как правило, ММ объекта вида (2) слишком сложна для решения задачи. Объясняется это тем, что такой могучий инструмент, как принцип суперпозиции, теряет свою силу в нелинейной постановке. В таком случае в теории управления, зародившейся в 1930-х гг., было принято рассматривать ММ объекта «в малом» относительно некоторых характерных режимов его движения. И тогда с некоторой степенью точности ММ объекта при его движении с малыми отклонениями от характерных режимов $x = x^*(t), u = u^*(t), f = f^*(t), y = y^*(t), \xi = \xi^*(t)$ можно линеаризовать и представить, например, в виде

$$\begin{aligned} \Delta \dot{x} &= A(t)\Delta x + B(t)\Delta u(t) + H(t)\Delta f(t), \\ \Delta y &= C(t)\Delta x + D(t)\Delta u(t) + N(t)\Delta \xi(t), \end{aligned} \quad (3)$$

где $\Delta x, \Delta u(t), \Delta f(t), \Delta y(t), \Delta \xi(t)$ – малые отклонения от векторов $x^*, u^*(t), f^*(t), y^*(t), \xi^*(t)$; $A(t), B(t), G(t), C(t), D(t), N(t)$ – матрицы соответствующих размерностей.

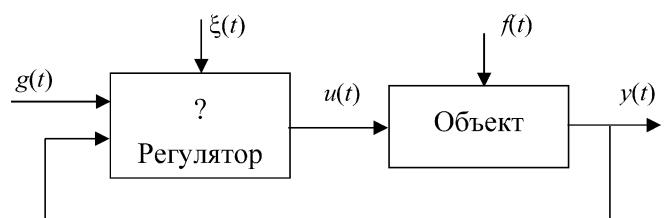


Рис. 1. Структурная схема системы управления



Для удобства записи знак Δ в выражении (3) обычно опускается и ММ объекта записывается в виде

$$\begin{aligned}\dot{x} &= A(t)x + B(t)u(t) + H(t)f(t), \\ y &= C(t)x + D(t)u(t) + N(t)\xi(t).\end{aligned}\quad (4)$$

Данная модель наиболее распространена в теории управления. Подчеркнём, что она:

- справедлива, и то — приближённо, лишь при «малых» в каком-то смысле векторах $x, u(t), f(t), y(t), \xi(t)$, например, при малых нормах этих векторов;
- нестационарна, т. е. элементы матриц $A(t), \dots, N(t)$ — функции времени.

В частности, для некоторых объектов управления матрицы $A(t), \dots, N(t)$ с достаточной степенью точности можно принять стационарными и работать с линейными стационарными ММ объектов управления вида

$$\begin{aligned}\dot{x} &= Ax + Bu(t) + Hf(t), \\ y &= Cx + Du(t) + N\xi(t).\end{aligned}\quad (5)$$

Интенсивное развитие теории управления, начиная с 1930-х гг., относилось, в основном, к ММ объектов вида (5), и к началу 1950-х гг. основные инженерные методы построения и расчёта систем автоматического регулирования стационарными объектами были разработаны и прекрасно изложены, например, в монографии [1].

Математическая модель объекта вида (5) позволила решить многие задачи автоматического управления в различных отраслях промышленности. Следует признать, что и в настоящее время такая упрощенная ММ остаётся актуальной и используется в задачах автоматизации многих технических систем и технологических процессов. Однако уже в военные и послевоенные годы появились объекты управления, для которых она оказалась далеко не адекватной. Речь идёт о развитии авиационной, а затем и космической техники. Разработанных к этому времени в теории автоматического регулирования приемов было недостаточно для обеспечения требуемой динамической точности работы бортовых систем управления летательными аппаратами. Причина простая: ММ летательных аппаратов, даже если их удавалось представить линеаризованными дифференциальными уравнениями, не были стационарными, а изменялись со временем при изменении высот и скоростей полёта. Для нестационарного объекта с ММ вида (4) требовался также нестационарный регулятор, т. е. регулятор, который по мере изменения свойств объекта и входных воздействий на систему управления был бы способен автоматически изменять свои параметры и, возможно, структуру закона регулирования с тем, чтобы динамические свойства системы управления в целом удовлетворяли заранее заданным требованиям. Другими словами, система управления должна обладать способностью адаптироваться, приспособливаться к изменяющимся условиям работы. Можно достаточно обоснованно утверждать, что проблемы управления летательными аппаратами в 1950-х гг. привели к интенсивному развитию адаптивного управления, которое, в силу большей близости ММ вида (4) к исходному виду (1) по сравнению с ММ вида (5), получило применение и в других отраслях промышленности (электротехнической, нефтедобывающей, металлургической и др.).

Структурную схему адаптивной системы управления можно представить в виде, показанном на рис. 2, где, в отличие от схемы, представленной на рис. 1, добавлено

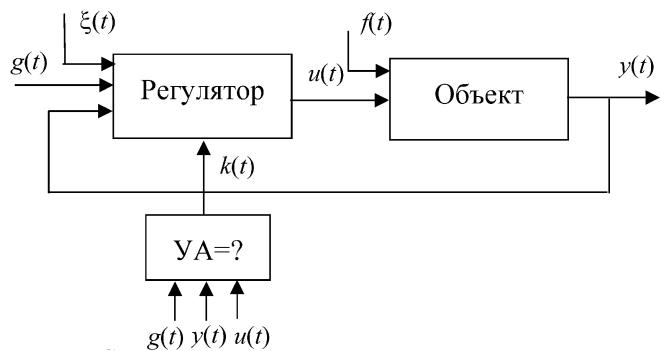


Рис. 2. Структурная схема адаптивной системы управления

устройство адаптации UA , которое призвано на основе априорной и текущей доступной информации о векторах $y(t), g(t)$ и $u(t)$ изменять вектор настраиваемых параметров регулятора $k(t)$, а возможно, и структуру регулятора с целью обеспечения заданных динамических свойств системы управления объектом с ММ вида (4).

Принципиальная проблема адаптивного управления заключается в отыскании алгоритма работы устройства адаптации, способного по текущей информации о движении системы в условиях отсутствия априорной информации об изменении матриц $A(t), \dots, N(t)$ в ММ (4) таким образом изменять регулятор, чтобы скомпенсировать влияние неизвестного изменения объекта во времени на движение замкнутой системы. Проблема усложняется тем, что, несмотря на линейную ММ (4), адаптивная система с учётом работы устройства адаптации является принципиально нелинейной и нестационарной.

Написаны тысячи статей и сотни монографий на тему адаптивного управления. Укажем только некоторые работы [2, 3], связанные с темой настоящей статьи или близкие к ней. К сожалению, опубликованные работы с примерами практического внедрения конкретных адаптивных систем управления не столь многочисленны. С некоторыми практическими приложениями адаптивного управления можно ознакомиться в работах [4, 5].

Как отмечалось выше, ММ объекта (4) имеет место лишь для малых норм векторов $x, u(t), f(t), y(t), \xi(t)$, при которых её приближённо можно считать линейной. Линейная модель объекта, как правило, позволяет синтезировать линейный регулятор (см. рис. 1). Более того, типичный приём синтеза адаптивной системы управления для объекта с ММ (4) заключается в синтезе линейного регулятора для объекта с замороженными коэффициентами для некоторого момента времени $t = t^*$ и затем изменении параметров этого регулятора со временем по мере изменения параметров объекта. Грубо говоря, для линейной модели объекта синтезируется линейная модель регулятора. Однако в объекте управления и регуляторе имеются типичные нелинейности, присущие любой конкретной конструкции. Так, органы управления объектом, как правило, имеют ограничения на диапазоны изменения своих параметров. Исполнительные устройства регулятора имеют ограничения на скорость и (или) ускорение изменения координат органов управления и т. д. При выходе координат объекта или регулятора на нелинейный режим работы компенсация нестационарного характера объекта изменением коэффициентов

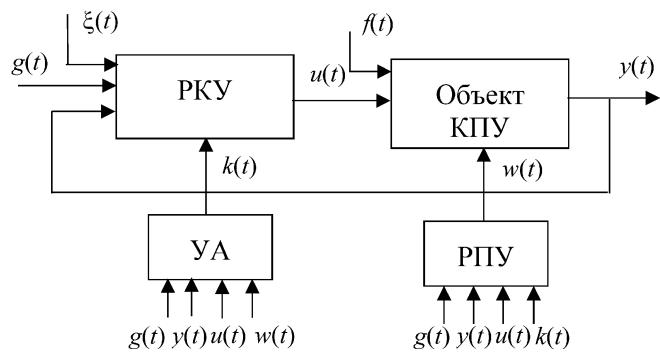


Рис. 3. Структурная схема системы адаптивного координатно-параметрического управления

фициентов и (или) структуры регулятора оказывается недостаточной. Такие случаи описаны в работе [2]. В своё время академик Б.Н. Петров высказал соображение, что для задачи адаптивного управления необходимым может оказаться не только изменение регулятора, но и целенаправленное изменение конструктивных параметров самого объекта в процессе его функционирования. В такой постановке возникает возможность управления объектом не только органами управления (координатное управление), но и изменением самого объекта с помощью целенаправленного изменения его конструктивных параметров (параметрическое управление).

Структурная схема системы адаптивного координатно-параметрического управления (КПУ) объектом представлена на рис. 3. Задача синтеза системы управления объектом с ММ вида (4) остаётся аналогичной: необходимо синтезировать алгоритмы работы регулятора координатного управления *РКУ*; устройства адаптации *УА* и регулятора параметрического управления *РПУ* ($w(t)$ – вектор настраиваемых конструктивных параметров объекта).

После монографии [2] авторами настоящей статьи получены некоторые результаты по развитию принципов построения, синтезу и анализу адаптивных и координатно-параметрических систем управления. Ряд результатов по этой тематике изложен в работах [6, 7].

В настоящей работе авторы ставят своей задачей ознакомить читателя с новыми проблемами, возникающими при адаптивном и координатно-параметрическом управлении современными объектами авиационной и космической техники. Некоторые из этих проблем решены теоретически и методически, другие требуют основательных исследований.

2. МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ОБЪЕКТОВ КООРДИНАТНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Рассмотрим ММ объекта не столь общую, как уравнение (1), но и не столь упрощенную, как ММ (4), в виде

$$\begin{aligned}\dot{x} &= A(t, w)x + B(t, w)u(t) + H(t, w)f(t), \\ y &= C(t, w)x + D(t, w)u(t) + N(t, w)\xi(t),\end{aligned}\quad (6)$$

где под вектором w введено некоторое множество конструктивных параметров объекта, допускающих целенаправленное изменение в процессе функционирования.

В работе [2] рассматривается вопрос о переходе от ММ (1) к ММ вида (6). С точки зрения модели общего вида (1) в модели (6) векторы $u(t)$ и $w = w(t)$ – составляющие единого вектора управления, поскольку изменение этих векторов влияет на вектор состояния $x = x(t)$ и вектор выхода $y = y(t)$. Однако в ММ (6) интересен различный характер влияния управлений $u(t)$ и $w(t)$ на движение объекта: $u(t)$ осуществляет аддитивное или координатное управление, $w(t)$ – мультипликативное или параметрическое управление. В дополнение к традиционному способу управления объектом с помощью вектора $u(t)$ в ММ (6) появляется возможность управления с помощью изменения оператора влияния вектора $u(t)$ на вектор выхода $y(t)$.

В работе [6] рассматривается частный случай ММ объекта КПУ в виде

$$\begin{aligned}\dot{x} &= [A(t) + K(x, t)]x + [B(t) + N(x, t)]u(t) + \\ &+ [H(t) + R(x, t)]f(t)\end{aligned}\quad (7)$$

в предположении о возможности измерения полного вектора состояния x , т. е. $y = x$, при $C(t, w) = E$, где E – единичная матрица, $D(t, w) = N(t, w) = 0$. В ММ (7) предполагается, что элементы матриц $K(x, t)$, $N(x, t)$ и $R(x, t)$ допускают целенаправленное изменение в процессе функционирования объекта и, следовательно, являются средствами параметрического управления объектом. Объект КПУ (7) обладает «богатым» параметрическим управлением. В частности, можно мыслить объекты с более «бедным» параметрическим управлением. Например, возможно $K(x, t) \equiv 0$, или $K(x, t) \equiv 0$ и $N(x, t) \equiv 0$, или, наконец, $K(x, t) \equiv N(x, t) \equiv R(x, t) \equiv 0$, когда у ММ объекта полностью отсутствуют средства параметрического управления и его ММ представляется системой (4).

Для ММ объекта КПУ (7) в работах [6, 7] получены алгоритмы решения различных задач управления в классе адаптивных систем КПУ. Однако ММ вида (7) – это частный случай ММ более общего вида (6). Далеко не каждый конкретный объект с возможными средствами параметрического управления можно привести к ММ вида (7). Рассмотрим, например, объект типа космического робототехнического модуля (КРМ) [8] с точки зрения возможности его представления объектом КПУ.

Космический робототехнический модуль является механической системой, состоящей из несущего тела – корпуса и одного или нескольких манипуляторов с концевыми схватами и предназначен для обслуживания орбитальной станции. Свободно летающий КРМ служит для перемещения грузов из одной точки станции в другую, сборки или разборки различных конструкций на станции или вблизи неё, вынесения за пределы станции малых космических объектов для проведения различных экспериментов и др.

Уравнения движения КРМ удобно вывести на основе уравнений Лагранжа второго рода в виде [8–10]

$$\frac{d}{dt} \frac{\partial T}{\partial \dot{q}} - \frac{\partial T}{\partial q} = Q,\quad (8)$$

где $T = T(q, \dot{q})$ – кинетическая энергия механической системы; $q \in R^m$ – вектор обобщенных координат; Q – вектор обобщенных сил.

Будем рассматривать КРМ как совокупность нескольких связанных тел: корпуса с шестью степенями



свободы и γp_γ звеньев, где γ – число манипуляторов, p_γ – число звеньев γ -го манипулятора.

Определив кинетическую энергию в виде $T(q, \dot{q}) = \dot{q}^T A(q) \dot{q} / 2$ и проделав необходимые в соответствии с уравнением (8) операции дифференцирования, получим уравнение

$$A(q) \ddot{q} + \sum_{s=1}^m [\dot{q}^T D_s(q) \dot{q}] e_s = Q, \quad (9)$$

где e_s – вектор-столбец размерности ($m \times 1$) с нулевыми компонентами кроме единственной s -ой по порядку единичной компоненты; $D_s = (d_{it}^s(q))$ – матрицы с элементами

$$d_{it}^s(q) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial a_{si}(q)}{\partial q_t} + \frac{\partial a_{st}(q)}{\partial q_i} - \frac{\partial a_{it}(q)}{\partial q_s} \right),$$

где $a_{it}(q)$ – элементы матрицы $A(q)$, $s, i, t = \overline{1, m}$.

Для упрощения дальнейших рассуждений примем, что КРМ обладает лишь одним манипулятором с n степенями свободы, т. е. $\gamma = 1, m = 6 + n$. В таком случае уравнение (9) удобно представить в виде

$$\begin{pmatrix} A_{11}(q) & A_{12}(q) \\ A_{21}(q) & A_{22}(q) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{q}_k \\ \ddot{q}_m \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} N_k(q, \dot{q}) \\ N_m(q, \dot{q}) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} R_{11}(q) & R_{12}(q) \\ R_{21}(q) & R_{22}(q) \end{pmatrix} \begin{pmatrix} S_k \\ S_m \end{pmatrix}, \quad (10)$$

где $q_k \in R^6$ – вектор шести обобщённых координат положения корпуса КРМ в пространстве, принятом за инерциальное; $q_m \in R^n$ – вектор обобщённых координат, определяющих положение звеньев манипулятора; $S_k \in R^6$ – вектор шести действующих сил и моментов относительно строительных осей корпуса, предназначенных для управления движением КРМ; $S_m \in R^n$ – вектор действующих сил и моментов, предназначенных для управления положением звеньев манипулятора; $q^T = (q_k^T, q_m^T)$; $N_k(q, \dot{q})$ и $N_m(q, \dot{q})$ – векторы, компонентами которых являются квадратичные формы относительно компонент вектора q .

Зафиксировав положение звеньев манипулятора, из выражения (10) получим уравнение движения КРМ в виде

$$A_{11}(q) \ddot{q}_k + N_k(q, \dot{q}) = R_{11}(q) S_k, \quad (11)$$

в котором постоянные координаты вектора q_m играют роль параметров; зафиксировав положение корпуса, т. е. сделав его неподвижным, получим традиционную систему уравнений движения манипуляционного робота [9, 11]

$$A_{22}(q) \ddot{q}_m + N_m(q, \dot{q}) = R_{22}(q) S_m. \quad (12)$$

Однако заметим, что матрицы $A_{11}(q), R_{11}(q)$ и компоненты вектора $N_k(q, \dot{q})$ зависят от полного вектора q , т. е. компоненты вектора q_k в уравнении (11) выступают

в качестве параметров, от которых существенно зависит движение корпуса. Изменяя вектор q_m целенаправленным образом, можно существенно изменять эффективность управления положением КРМ в пространстве.

Таким образом, КРМ с моделью вида (10) относится к классу объектов КПУ, причём модель (10) существенно отличается от модели объекта КПУ вида (7).

Математическая модель объекта КПУ вида (6) позволяет сформулировать следующие проблемы.

Проблема 1 – вывод уравнений движения объекта КПУ с большим числом степеней свободы.

Вывод таких уравнений без активного привлечения современных вычислительных средств не представляется возможным, поэтому проблема 1 включает в себя разработку математических основ её решения, удобных для применения вычислительных средств, и программных методов её решения с помощью вычислительных средств.

Проблема 2 – разработка математических методов анализа влияния конструктивных параметров объекта КПУ на его ММ и разработка программных средств анализа такого влияния.

Проблема 2 очевидна. Действительно, ММ объекта КПУ, даже в случае модели (10), зависит от конструктивных параметров весьма сложно. Провести указанный анализ без вычислительных средств и удобных как математических методов, так и эффективных программных алгоритмов, не представляется возможным.

Рассмотрим вновь ММ (10) движения КРМ. Выше получены её частные случаи (11) и (12), соответственно, для постоянных векторов q_k и q_m , причём ММ (11) и (12) соответствуют различным структурам КРМ с различными числами степеней свободы. Но зафиксированы могут быть не все компоненты вектора q_m или q_k . Например, в векторе q_m могут быть зафиксированы от одной до n компонент. Таким образом, ММ (11) может вырождаться в большое число промежуточных ММ, которые соответствуют различным структурам КРМ. Естественно, что управление движением КРМ зависит и от текущей структуры КРМ, и от текущих компонент вектора состояния, и от текущих значений конкретных параметров. Если ещё учесть, что КРМ может переносить грузы с разными масс-инерционными характеристиками, то становится очевидной следующая проблема.

Проблема 3 – разработка методов программного обеспечения для решения задачи получения текущей ММ объекта КПУ в процессе его функционирования с учётом изменяющейся структуры объекта, методов и программного обеспечения оперативного решения задачи анализа ММ объекта КПУ от конструктивных параметров.

Сформулированные проблемы, естественно, актуальны и для многих других типов подвижных объектов общетехнического назначения.

3. О НЕКОТОРЫХ НОВЫХ ПРОБЛЕМАХ В ЗАДАЧАХ СИНТЕЗА АЛГОРИТМОВ РАБОТЫ СИСТЕМ АДАПТИВНОГО КООРДИНАТНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

Основное назначение адаптивных систем КПУ, как уже отмечалось, заключается в компенсации отрицательного влияния изменения динамических свойств объекта на динамические свойства системы управления в целом, для чего изменяется структура и (или) параметры регулятора. Для этого регулятор необходимо выбрать



так, чтобы такая компенсация была принципиально возможна и, если это удаётся сделать, то необходимо синтезировать алгоритмы работы устройства адаптации $УА$ и регулятора параметрического управления $РПУ$ (см. рис. 3), которые позволяли бы осуществлять желаемую компенсацию изменения динамических свойств объекта соответствующим изменением регулятора и самого объекта. Наиболее удобна для получения алгоритмов адаптации ММ системы управления в виде (7). Предполагается, что элементы матриц $A(t)$, $B(t)$ и $H(t)$ изменяются заранее неизвестным образом, а элементы матриц $K(x, t)$, $N(x, t)$ и $R(x, t)$ допускают целенаправленное изменение. Алгоритмы адаптации и параметрического управления синтезируются из условия, например, выполнения равенств

$$\begin{aligned} A(t) + K(x, t) &= A_0, \quad B(t) + N(x, t) = B_0, \\ H(t) + R(x, t) &= H_0, \end{aligned}$$

где матрицы A_0 , B_0 и H_0 заранее заданы, например, постоянны, причём такие, что с ними выполняются технические требования на движение системы.

Различные варианты задач, возникающих в такой постановке, рассмотрены в работах [6, 7], где приводится методика вывода алгоритмов адаптации и параметрического управления для многих конкретных задач.

В рассмотренной, условно говоря, «компенсационной» логике построения адаптивных систем КПУ остается ещё немало проблем. Например, приведение ММ замкнутой системы управления к виду (7) – весьма непростая задача. Методы синтеза алгоритмов адаптации и алгоритмов работы регулятора параметрического управления (см. рис. 3) далеки от своего завершения. Однако новые актуальные задачи, требующие применения адаптивных систем КПУ, выдвигают новые проблемы. Так, для управления объектом с ММ вида (10) на первый план выдвигаются проблемы его нелинейной природы, многосвязности, дискретно изменяющейся структуры в процессе функционирования. В связи с этим сформулируем ещё одну проблему управления, возникающую в классе адаптивных систем КПУ.

Проблема 4 – разработка алгоритмов адаптации и алгоритмов работы регулятора параметрического управления в задачах, где на первый план выдвигаются проблемы нелинейного вида и многосвязности ММ объектов КПУ.

Выделим в отдельную проблему задачу управления объектами КПУ с изменяющейся структурой в процессе функционирования. Как видим, традиционные подходы к синтезу алгоритмов управления подобными объектами, даже в классе адаптивных систем КПУ, являются недостаточными. Необходима разработка таких методов управления, которые для неизменной структуры объекта обеспечивали бы заданные свойства системы управления, но, кроме этого, они должны обеспечивать оперативное реагирование и на непредвидимые заранее структурные изменения в объекте.

Проблема 5 – разработка методов управления объектами КПУ с дискретным изменением структуры объекта с заранее непредсказуемым существенным изменением ММ объекта в процессе его функционирования.

Обратим внимание, что в задачах управления объектами, для которых актуальна необходимость решения проблемы 5, особо острой проблемы 1–3.

Нельзя сказать, что сформулированные проблемы не ставились до настоящего времени. Так, проблема 1 поставлена и найдено достаточно сильное её решение в работе [9]. С учётом существенного развития вычислительных средств данная работа может послужить основой решения проблемы 1 для такого актуального объекта КПУ, как КРМ.

Проблема 2 нашла своё отражение в задачах, решаемых в работе [12]. Остановимся подробнее на этой работе.

4. ОЦЕНКА ЗАВИСИМОСТИ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕФОРМИРУЕМОГО КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА ОТ ИЗМЕНЕНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ

Математическая модель углового движения деформируемого космического аппарата (ДКА) при малых отклонениях от некоторого характерного режима его движения, подобно системе уравнений (5), можно представить в линейном стационарном виде

$$\begin{pmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \ddot{x} \\ \ddot{q} \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ 0 & B_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ q \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} M \\ 0 \end{pmatrix}, \quad (13)$$

где $x^T = (x_1, x_2, x_3)$ – вектор наблюдаемых угловых координат ДКА; $q^T = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ – вектор ненаблюдаемых упругих координат; $M^T = (M_1, M_2, M_3)$ – вектор управляющих моментов, восстанавливающих заданное угловое положение ДКА; A_{ij} ($i, j = 1, 2$), B_{22} – постоянные матрицы, определяемые механической структурой ДКА.

Математическая модель рассматриваемого объекта в виде (13) неудобна для его анализа как объекта управления и для определения зависимости динамических свойств ДКА от его конструктивных параметров. В работе [13] авторы предложили от ММ вида (13) переходить к другой эквивалентной ММ, которую они назвали «модально-физической». Для ДКА такая модель имеет вид

$$\begin{aligned} \ddot{\tilde{x}}_i &= n_i m; \quad \ddot{s}_i + \omega^2 s_i = K^i m; \quad s_i^T = (\tilde{x}_{i1}, \tilde{x}_{i2}, \dots, \tilde{x}_{in}); \\ \tilde{x}_i &= \sum_{j=1}^n \tilde{x}_{ij}; \quad x_i = \tilde{x}_i + \tilde{x}_i \quad (i = 1, 2, 3), \end{aligned} \quad (14)$$

где $m = J^{-1} M$; $J = \text{diag}(J_{11}, J_{22}, J_{33})$; J_{ii} – диагональные элементы матрицы A_{11} ; $\omega^2 = \text{diag}(\omega_1^2, \omega_2^2, \dots, \omega_n^2)$; $K^i = (k_{jr}^i)$ ($i, r = 1, 2, 3$; $j = \overline{1, n}$) – матрица коэффициентов возбудимости; $n_i = (n_{i1}, n_{i2}, n_{i3})$ – вектор-строка коэффициентов эффективности управления.

В системе уравнений (14), в отличие от ММ (13), собственные частоты ω_j ($j = \overline{1, n}$), коэффициенты n_{ir} ($i, r = 1, 2, 3$), k_{jr}^i ($i, r = 1, 2, 3$; $j = \overline{1, n}$) имеют вполне понятный физический смысл. Получив графики зависимости собственных частот, коэффициентов эффективности управления и коэффициентов возбудимости от конструктивных параметров объекта, можно решать задачу конструкторского формирования ДКА ещё на этапе проектирования или, если в этом возникает необходимость, параметрического управления объектом на

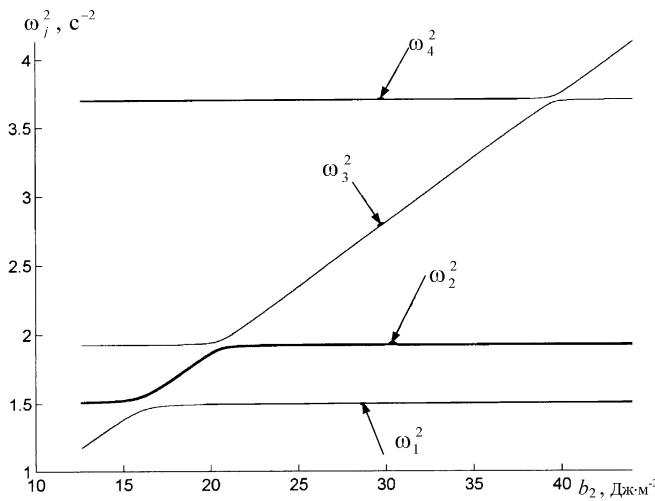


Рис. 4. Зависимости собственных частот ДКА от коэффициента приведенной жесткости упругой штанги

этапе его функционирования. В работе [12] приведены графики зависимости собственных частот ω_j ($j = \overline{1, 4}$) и коэффициентов возбудимости k_{jr}^1 ($r = 1, 2, 3; j = \overline{1, 4}$) от такого конструктивного параметра, как жёсткость несущих необходимые приборы штанг. Другие конструктивные параметры ДКА задавались конкретными значениями.

На рис. 4 представлены графики зависимостей собственных частот ω_j ($j = \overline{1, 4}$) от жёсткости штанг для примера ДКА, рассмотренного в [12].

Проблема 3, по-видимому, ещё ждёт своего решения.

Проблема 4 созвучна общей непростой проблеме теории управления: отысканию алгоритмов управления нелинейными многосвязанными объектами. Естественно, что при её решении применительно к классу адаптивных систем КПУ необходимо воспользоваться всем накопленным в теории управления опытом.

Рассмотрим один из возможных достаточно общих подходов к решению проблемы 4.

5. АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНЫМ МНОГОСВЯЗНЫМ ДИНАМИЧЕСКИМ ОБЪЕКТОМ С ОГРАНИЧЕННЫМИ УПРАВЛЕНИЯМИ НА ОСНОВЕ КОНЦЕПЦИИ ДЕКОМПОЗИЦИИ И ТЕХНИЧЕСКОЙ УПРАВЛЯЕМОСТИ

Рассмотрим ММ объекта КПУ в виде (9), записав её в более удобном представлении, аналогичном виду (10),

$$A(q)\ddot{q} + N(q, \dot{q}) = R(q)S, \quad (15)$$

где $q \in R^n$, $S^T = (S_1, S_2, \dots, S_n)$ – вектор действующих сил и моментов, призванных для управления движением вектора $q = q(t)$.

Действующие управляющие воздействия ограничены, т. е.

$$|S_i| \leq S_i^{\max}, \quad S_i^{\max} = \text{const} > 0. \quad (16)$$

Как видим, ММ (15) соответствует такому объекту, как КРМ, рассмотренному в п. 3. Очевидно, что объект типа КРМ требует предсказуемого высокоточного управления для безопасности других космических объектов, с которыми он взаимодействует: с космической станцией, если он её обслуживает; другими космическими объектами, если он манипулирует в их окрестности, и др.

Возникает вопрос, что нужно понимать под высокоточным управлением объектом с ММ вида (15), например, объектом типа КРМ? Сформулируем качественно понятие такого управления следующим образом. Пусть для каждой координаты q_i ($i = \overline{1, n}$) тем или иным способом, который мы пока не затрагиваем, определяется задающее воздействие $q_i^*(t)$ и требуется, чтобы координата $q_i = q_i(t)$ следила за своим управляющим воздействием $q_i^*(t)$ с такими показателями:

- 1) если

$$|q_i^*(t) - q_i(t)| > \varepsilon_i, \quad (17)$$

где $\varepsilon_i = \text{const} > 0$ – наперёд заданная величина, то $q_i(t)$ устраняет рассогласование (17) и остаётся в трубке

$$|q_i^*(t) - q_i(t)| \leq \varepsilon_i \quad (18)$$

при первом же её достижении, причём рассогласование устраняется по вполне предсказуемому желаемому закону изменения $q_i(t)$;

- 2) если неравенство (17) устранено при $t = t^*$, то неравенство (18) имеет место при $t \geq t^*$;

- 3) условия 1 и 2 должны выполняться для каждой координаты q_i ($i = \overline{1, n}$) независимо от того, присутствуют или не присутствуют управления $S_i = S_i(t)$ ($i = \overline{1, n}$) по другим координатам q_j ($j = \overline{1, n}; j \neq i$).

Известны трудности управления линейными многосвязными объектами и, конечно, трудно представить удовлетворительное решение задачи управления нелинейным многосвязным объектом с ограниченными управлениями и сформулированными выше требованиями на динамическую точность движения. Тем не менее, такое управление именно в таких условиях возможно. Прежде чем перейти к нему, зададимся вопросом: является ли объект с ММ вида (15) с ограничениями (16) управляемым вообще, например, в смысле управляемости по Калману, т. е. возможности перевода объекта из любой начальной точки пространства $\{q, \dot{q}\}$ в любую другую точку этого пространства? Е.С. Пятницкий в работе [14] даёт на это ответ, который качественно звучит таким образом: да, объект с ММ вида (15) и ограничениями (16) управляем в смысле Калмана, если:

- число независимых управлений не меньше числа степеней свободы;
- управляющие силы превосходят возможные значения соответствующих обобщённых сил, зависящих от внешнего возмущения.

В соответствии с этими условиями в ММ (15) размерности векторов q и S принимаются одинаковыми. Однако понятно, что от управляемости по Калману до высокоточного управления необходимо решить немало проблем.



Не останавливаясь подробно на рассматриваемой задаче, дадим основные этапы её решения [15].

В работе [16] сформулировано понятие технической управляемости объекта с ММ вида (15) и понятие области технической управляемости в пространстве $\{t, q, \dot{q}\}$. Физически эти понятия означают следующее: если движение объекта принадлежит области технической управляемости, то при подаче максимального по модулю управления $|S_i(t^*)| = S_i^{\max}$ по координате $q_i(t)$ при $t = t^*$ возникает ускорение $\ddot{q}_i(t^*)$, которое не менее определённого уровня $|\ddot{q}_i(t^*)| \geq \rho_i^0$, $\rho_i^0 = \text{const} > 0$.

Доказано [15], что если движение объекта с ММ вида (15) находится в области технической управляемости, то на законах релейного управления вида

$$S_i(q, \dot{q}, t) = S_i^{\max} \operatorname{sign}(u_i(q, \dot{q}, t)) \quad (i = \overline{1, n}),$$

где $u_i(q, \dot{q}, t)$ функция переключения формируется релеятором, ММ вида (18) декомпозируется в эквивалентную систему

$$\ddot{q}_i = \rho_i(t) \operatorname{sign}(u_i(q, \dot{q}, t)), \quad \rho_i(t) \geq \rho_i^0 \quad (i = \overline{1, n}). \quad (19)$$

Понятно, что с ММ объекта вида (19) уже проще решать задачу высокоточного управления, чем с ММ вида (15). Действительно, в ММ (19) объекта появляется возможность синтезировать закон управления, который обеспечивал бы заданные показатели 1–3 по каждой обобщённой координате q_i ($i = \overline{1, n}$) в отдельности.

Например, описан следующий подход к такому синтезу [15]. Предположим, что для некоторого $i \in [1, n]$ в ММ (19) имеет место

$$\rho_i(t) \equiv \rho_i^0, \quad \rho_i^0 = \text{const} > 0. \quad (20)$$

Пусть требуется перевести координату $q_i(t)$ из одного положения $q_i(t_0) = \text{const}$, $\dot{q}_i(t_0) = 0$ в другое положение $q_i(t_1) = \text{const}$, $\dot{q}_i(t_1) = 0$, т. е. $q_i^*(t) = \text{const}$. Известно [17], что исходя из принципа максимума Понтрягина, такой переход можно осуществить оптимальным по быстродействию способом, если функцию переключения $u_i(q, \dot{q}, t)$ в ММ (19) выбрать в виде

$$u_i = x_i + \frac{(\dot{x}_i)^2}{2\rho_i^2} \operatorname{sign}(\dot{x}_i), \quad (21)$$

где введено обозначение $x_i = q_i(t_1) - q_i(t_0)$. Очевидно, что в данном частном случае все три требования высокоточного управления соблюдаются, причём время переходного процесса определяется соотношением

$$T_i^0(|\Delta q_i|) = \sqrt{\frac{4|\Delta q_i|}{\rho_i^0}}, \quad (22)$$

где $\Delta q_i = q_i(t_1) - q_i(t_0)$.

На основе прямого метода Ляпунова можно показать [15], что в данном частном случае требования 1–3 вы-

сокоточного управления сохраняются не только при условии (20), но и в случае

$$\rho_i(t) \geq \rho_i^0. \quad (23)$$

Однако рассмотренная задача высокоточного управления решена лишь для частного случая $q_i^*(t) = \text{const}$. Если наложить на управляющее воздействие $q_i^*(t)$ ограничение по скорости его изменения, которое вполне естественно в силу ограничений (16), то незначительная модификация закона управления (21) приводит к выполнению требований 1–3 высокоточного управления для любого управляющего воздействия $q_i^*(t)$, учитывающего такие ограничения [18].

В рассмотренной постановке задача высокоточного гарантированного управления решается на основе оптимального по быстродействию алгоритма управления, но, если так можно выразиться, неоптимальным образом.

Действительно, чем меньше значение ρ_i^0 в неравенствах (19) и (23), тем медленнее протекают процессы в системе (19) с законами управления (21). Это видно из соотношения (22). Возникает задача адаптивного высокоточного гарантированного управления: отыскание текущего значения ρ_i^0 в неравенствах (22) и (26), наиболее близкого к равенству, например, по соотношению $\rho_i = \rho_i^0(t) + \varepsilon$, где $\varepsilon = \text{const} > 0$ – заданная постоянная величина. В таком случае использование значения $\rho_i^0(t)$ в законах управления вида (21) вместо постоянного значения ρ_i^0 может дать значительный выигрыш в быстродействии при управлении нелинейным многосвязным объектом. Однако высказанные соображения по поводу адаптивного высокоточного гарантированного управления ещё ждут своего теоретического обоснования и алгоритмического решения.

6. ОБ ОДНОЙ ЗАДАЧЕ ПРИМЕНЕНИЯ МАНИПУЛЯТОРА В ОБЪЕКТЕ ТИПА КОСМИЧЕСКОГО РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО МОДУЛЯ КАК СРЕДСТВА ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ

В работе [8] получены уравнения движения КРМ вида (10), состоящего из корпуса и одного манипулятора с тремя звенями, причём для движения КРМ в одной плоскости получены аналитические зависимости элементов матриц $A_{ij}(q)$ и $R_{ij}(q)$ ($i, j = 1, 2$) и компонент векторов $N_k(q, \dot{q})$ и $N_m(q, \dot{q})$ от конструктивных параметров КРМ и компонент векторов q и \dot{q} .

Рассмотрим такую упрощенную задачу: концевым схватом последнего третьего звена манипулятор КРМ захватывает жёсткий точечный груз и далее КРМ должен перенести этот груз на значительное расстояние. Очевидно, что в процессе перелёта для КРМ как механической системы может существовать некоторая конфигурация, определяемая, например, расположением звеньев манипулятора, которая оптимальна в том или ином смысле. Например, если перелёт осуществляется с одновременной стабилизацией углового положения КРМ,



то возникает проблема для объектов космического типа, связанная с минимизацией энергетических затрат на управление. В таком случае можно рассмотреть две интересные возможности: 1) поддерживать в процессе перелёта конфигурацию звеньев манипулятора, при которой энергетические затраты на управление минимальны; 2) использовать звенья манипулятора как дополнительные средства управления КРМ из условия минимизации общих энергетических затрат на управление.

Первая возможность описана в работе [19]. Показано, что существует некоторое оптимальное положение звеньев манипулятора при переносе груза в рассматриваемой задаче, минимизирующее энергетические затраты на управление. Это положение определяется фактом совпадения центра масс КРМ в целом с центром масс корпуса. Этот факт, в свою очередь, соответствует минимальному значению момента инерции КРМ относительно оси, проходящей через центр масс КРМ перпендикулярно плоскости движения. Для конфигурации КРМ, принятой в работе [19], момент инерции КРМ относительно его центра масс определяется соотношением

$$J = J_0 + (m_1 + m_{\text{tp}})[x_a^2 + y_a^2 - r_1^2 - 2r_1(x_a \sin \alpha_1 + y_a \cos \alpha_1)] + (m_1 + m_{\text{tp}})[r_2^2 + 2r_2(x_a \sin(\alpha_1 + \alpha_2) + y_a \cos(\alpha_1 + \alpha_2)) - r_1 \cos \alpha_2], \quad (24)$$

где углы α_1 и α_2 определяют положение звеньев манипулятора, m_{tp} — масса переносимого груза, остальные величины определяются значениями конструктивных параметров КРМ. Минимизируя момент инерции J в выражении (24) по аргументам α_1 и α_2 , отыскивают значения

$$\alpha_1 = \alpha_1^{\text{opt}}, \quad \alpha_2 = \alpha_2^{\text{opt}}, \quad (25)$$

определяющие оптимальную конфигурацию КРМ при переносе груза. Далее стоит задача управления: тем или иным способом поддерживать равенства (25) с желаемой степенью точности.

Вторая возможность используется в работе [20]. Рассмотрим вновь уравнения движения КРМ в виде (10). Выше отмечалось, что подобные объекты управления выдвигают жёсткие требования к энергетическим затратам на управление. Особенно это относится к топливу реактивных двигателей, доставляемого с Земли, и в меньшей степени к электроэнергии, восполняемой с помощью солнечных батарей. Отсюда возникает следующее соображение: поскольку система (10) взаимосвязана по управляющим векторам S_k и S_m , нельзя ли управление и стабилизацию КРМ в процессе длительного перелёта перенести с компонент вектора S_k , требующих затрат дорогостоящего реактивного топлива, на компоненты вектора S_m , требующих, как правило, менее дефицитной электрической энергии? Показано, что такая возможность существует [20]. Действительно, рассмотрим вновь уравнения движения КРМ в плоскости, где из трёх координат вектора q_k две будут определять расположение начала связанных осей КРМ в пространстве, принимаемом за инерциальное, а третья координата, назовём её v , угловое положение корпуса. По-прежне-

му, α_1, α_2 и α_3 — координаты вектора q_m , определяющие положение трёх звеньев манипулятора относительно корпуса. Для упрощения решения задачи при аналитическом (а не экспериментальном) исследовании пренебрежём векторами $N_k(q, \dot{q})$ и $N_m(q, \dot{q})$, считая норму вектора \dot{q} относительно малой. Из трёх координат α_i ($i = 1, 2, 3$) две зафиксируем, приняв их постоянными, а одну, например, α_1 , оставим в качестве обобщённой координаты. Из упрощившейся при этом системы (10) выпишем уравнение относительно координаты v в виде

$$\ddot{v} = r_{vv}(q)M_v + r_{va}(q)M_a + r_{vx}(q)F_x + r_{vy}(q)F_y, \quad (26)$$

где $r_{vv}(q), r_{va}(q), r_{vx}(q)$ и $r_{vy}(q)$ — коэффициенты эффективности влияния управлений по соответствующим координатам на движение по координате v . Уравнение (26) при условии $M_v = 0$ запишем в виде

$$\ddot{v} = r_{va}(q)M_a + M_b(q, t), \quad (27)$$

где $M_b(q, t) = r_{vx}(q)F_x + r_{vy}(q)F_y$.

В данном случае воздействие M_a , предназначенное для управления положением звена манипулятора, используется для управления угловым положением КРМ, т. е. углом v . Для этого, например, можно выбрать закон регулирования в виде $M_a = -k_0(k_v \dot{v} + v)$, с которым уравнение (27) преобразуется к виду

$$\ddot{v} + r_{va}(q)k_0k_v \dot{v} + r_{va}(q)k_0v = M_b(q, t). \quad (28)$$

Полученное уравнение (28) нелинейно, однако, если к нему применить адаптивный подход и теми или иными методами адаптации путем целенаправленного изменения коэффициента k_0 обеспечить с заданной степенью точности выполнение равенства $r_{va}(q)k_0 = k_a$, $k_a = \text{const}$, то динамику изменения координаты v можно оценить по уравнению (28), считая его линейным.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По мере развития динамических технических объектов и усложнения решаемых ими задач с одновременным ужесточением требований к точности их движения становятся всё более востребованными методы адаптивного и координатно-параметрического управлений. К ещё неполностью решённым проблемам такого управления добавляются новые, актуальность решения которых диктуется необходимостью технического развития общества, экономическими и социальными соображениями. В настоящей статье сформулирован ряд новых актуальных проблем адаптивного и координатно-параметрического управлений. Приведённые в статье некоторые возможные направления их решения далеко не единственные. Можно ожидать, что читатели найдут свой интерес в решении сформулированных проблем, предложат и разовьют свои подходы к их решению. Возможно, статья натолкнёт читателя на формулировку других, близких к поставленным, не менее актуальных проблем. Авторы с удовлетворением встретят как печатную дискуссию (или критику) по поднимаемым проблемам, так и устную, лишь бы было продвижение в реализации необходимых технических решений.



ЛИТЕРАТУРА

1. Основы автоматического регулирования: Теория / Под ред. В.В. Соловьёвa. — М.: ГНТИ МАШЛIT, 1954.
2. Петров Б.Н., Рутковский В.Ю., Земляков С.Д. Адаптивное координатно-параметрическое управление нестационарными объектами. — М.: Наука, 1980.
3. Мирошник И.В., Никифоров В.О., Фрадков А.Л. Нелинейное и адаптивное управления сложными динамическими системами. — СПб.: Наука, 2000.
4. Рутковский В.Ю. Работы Института проблем управления в области беспоисковых адаптивных систем и систем управления космическими аппаратами // Автоматика и телемеханика. — 1999. — № 6. — С. 42–49.
5. Земляков С.Д., Рутковский В.Ю. О некоторых результатах развития теории и практического применения беспоисковых адаптивных систем // Автоматика и телемеханика. — 2001. — № 7. — С. 103–121.
6. Глумов В.М., Земляков С.Д., Рутковский В.Ю. Адаптивное координатно-параметрическое управление нестационарными объектами: некоторые результаты и направления развития // Автоматика и телемеханика. — 1999. — № 6. — С. 100–116.
7. Рутковский В.Ю., Земляков С.Д., Глумов В.М. О некоторых возможностях формирования самосовершенствующихся управляемых динамических систем // Тр. Института. — М.: Ин-т пробл. упр. им. В.А. Трапезникова РАН, 1999. — Т. 3. — С. 108–127.
8. Рутковский В.Ю., Суханов В.М. Динамическая модель свободнолетающего космического робототехнического модуля // Автоматика и телемеханика. — 2000. — № 5. — С. 38–57.
9. Кулаков Ф.М. Супервизорное управление манипуляционными роботами. — М.: Наука, 1980.
10. Лурье А.И. Аналитическая механика. М.: Физматгиз, 1961.
11. Крутько П.Д. Управление исполнительными системами роботов. — М.: Наука, 1991.
12. Глумов В.М., Земляков С.Д., Рутковский В.Ю., Суханов В.М. Модально-физическая модель пространственного углового движения деформируемого космического аппарата и её свойства // Автоматика и телемеханика. — 1998. — № 12. — С. 38–50.
13. Рутковский В.Ю., Суханов В.М. Модель деформируемого космического аппарата и общие характеристики динамики его конструкции // Изв. РАН. Техн. кибернетика. — 1994. — № 1. — С. 198–206.
14. Пятницкий Е.С. Управляемость классов лагранжевых систем с ограниченными управлениями // Автоматика и телемеханика. — 1996. — № 12. — С. 29–37.
15. Глумов В.М., Земляков С.Д., Рутковский В.Ю., Суханов В.М. К вопросу о технической управляемости и декомпозиции лагранжевых систем с ограниченными управлениями // Автоматика и телемеханика. — 2002. — № 10. — С. 13–33.
16. Глумов В.М., Земляков С.Д., Рутковский В.Ю., Суханов В.М. Техническая управляемость автоматизированного космического робота // Автоматика и телемеханика. — 2001. — № 3. — С. 31–44.
17. Болтянский В.Г. Математические методы оптимального управления. — М.: Наука, 1969.
18. Рутковский В.Ю., Земляков С.Д. Техническая управляемость и декомпозиция математической модели движения многосвязных нелинейных нестационарных объектов с ограниченными управлениями // Конф. по теории упр., посвящ. памяти акад. Бориса Николаевича Петрова / Ин-т пробл. упр. им. В.А. Трапезникова РАН: Тез. докл. — М., 2003. — С. 20–21.
19. Богомолов В.П., Рутковский В.Ю., Суханов В.М. Проектирование оптимальной механической структуры свободнолетающего космического робототехнического модуля как объекта автоматического управления. I, II // Автоматика и телемеханика. — 1998. — № 5. — С. 27–40; № 6. — С. 75–88.
20. Rutkovsky V.Yu., Sukhanov V.M., Glumov V.M., Zemlyakov S.D. Nonlinear Combined Control by Space Robotic Module Motion with Using Manipulator's Mobility // Proceedings of the 15-th IFAC World Congress. Spain, Barcelona. July 21–26, 2002. CD-ROM.

☎ (095) 336-87-30

E-mail: rutkov@ipu.rssi.ru

ABSTRACT

Rutkovsky V.Yu., Zemlyakov S.D., Sukhanov V.M., Glumov V.M.

NEW DIRECTIONS OF ADAPTIVE COORDINATE-PARAMETRIC CONTROL THEORY AND APPLICATIONS

The paper discusses the origin of adaptive and coordinate-parametric control principles. The matter of these principles is clarified. Theoretical approaches to the solution of adaptive coordinate-parametric control problems are analyzed. The reasons of new problems emergence in the considered class of control systems are considered; some results of their solution are presented.

УДК 658.52.011.56.620.9

СОСТОЯНИЕ УРОВНЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ И СИСТЕМОТЕХНИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА ЕГО ПОВЫШЕНИЕ

И.В. Прангишвили, А.А. Амбарцумян, А.Г. Полетыкин, Г.Г. Гребенюк, И.Б. Ядыкин

Анализируется состояние систем автоматизации различного уровня в энергетике, отмечаются негативные тенденции их развития в последние годы. Описывается опыт ИПУ РАН по внедрению конкретных систем автоматизации процессов разного уровня для предприятий энергетики. Приводятся новые теоретические результаты по перспективным методам управления поточными технологическими процессами и предлагаются решения по созданию инструментальной системы нового поколения, направленные на существенное повышение уровня автоматизации технологических процессов и, тем самым, на повышение эффективности энергетического хозяйства страны.

ВВЕДЕНИЕ

Состояние и уровень (степень) автоматизации систем управления в энергетике национального хозяйства России целесообразно рассматривать в соответствии с принятой структуризацией предприятий энергетического комплекса: генерирующие (источники), транспортные и преобразующие (системы передачи энергии) и энергопотребляющие (бытовые и промышленные системы).

Несмотря на различия в технологических процессах, характерных для этих предприятий, и принадлежность к различным отраслям (электроэнергетике и коммунальному хозяйству), имеются общие негативные тенденции в состоянии этих производств, вызванные в значительной степени недостаточным уровнем автоматизации систем управления. Рассмотрим эти тенденции.

Снижение эффективности. Для генерирующих предприятий имеет место традиционно низкий КПД. Наиболее сложными и наукоемкими объектами являются источники электрической и тепловой энергии. Для них характерен большой разброс в экономичности использования энергии топлива. Так, анализ, выполненный ИПУ РАН для Москвы, пока-

зал, что КПД различных ТЭЦ колеблются в пределах 63...86%. В то же время автономные теплоэлектростанции с газопоршневыми энергетическими агрегатами, широко распространенные за рубежом, позволяют получить существенно более высокий (около 90%) КПД переработки топлива в электрическую и тепловую энергию. Коэффициент полезного действия РТС, занятых производством только тепловой энергии, составляет 80...94%. Средний КПД мелких котельных равен 77%.

Эти цифры указывают на важность принципов и технологий производства энергии, но не меньший вклад в эффективность и безопасность этих производств вносят принципы управления, например, применение регулируемых асинхронных приводов для управления расходом теплоносителя. До сих пор на ТЭЦ, АЭС и в котельных применяется, в основном, управление с постоянным расходом теплоносителя, и при необходимости изменения мощности осуществляется неэкономичное «байпасирование» или режимы с неэффективными характеристиками.

В системах передачи энергии снижается оперативность и растут потери. Одно из слабых мест в системе централизованного теплоснабжения – тепловые сети, где теряется

большое количество тепла, а при ремонте поглощается значительная доля всех расходов. Основная причина повреждения трубопроводов – наружная коррозия из-за некачественной тепловой изоляции и отсутствия эффективной гидроизоляции. Помимо недолговечности трубопроводов, тепловые потери отечественных сетей трубопроводов составляют приблизительно 15...20% (для сравнения – в Европе этот показатель составляет 2...4%). Высокие тепловые потери обусловлены, с одной стороны, неэффективной изоляцией стальных труб, с другой стороны, низким уровнем диагностики их состояния.

Высок уровень утечек на трассах. Для сокращения утечек теплоносителя необходимо диагностировать состояние тепловых сетей различными методами, включая метод инфракрасной аэрофотосъемки и др.

На энергопотребляющих предприятиях широко распространены системы отопления и горячего водоснабжения с прямой подачей нагретой воды потребителю (зависимые системы). Анализ работы зависимых и независимых ЦТП показывает большое преимущество последних вследствие возможности регулирования тепловой энергии, подаваемой потребителям. Предварительные расчеты показывают, что переход на



независимую схему позволяет экономить 10...15% энергии.

Рост стоимости продукции и услуг. Рост цен на электроэнергию и особенно тепла общеизвестен. Но, кроме всего прочего, и себестоимость продукции энергопредприятий резко возросла. Качество ведения технологических процессов из-за высоких нагрузок на оперативный персонал и несоблюдения регламентов ведет к издержкам топлива, вследствие чего при цене на газ в РФ 17 долл. США за 1000 м³ (а в Германии 170 долл.) мы имеем примерно одинаковую с Германией отпускную цену электроэнергии от ТЭЦ в европейской части страны. Росту стоимости в значительной мере способствует отсутствие развитых систем учета электроэнергии и тепла, так как без приборов нельзя контролировать потери энергии и оценивать эффективность энергосберегающих мероприятий в городе. Источники тепловой энергии и большая часть ЦТП (~80%) оборудованы приборами учета, но только около 7% строений (потребителей) оснащены измерителями. Все новостройки оснащаются подомовыми и поквартирными узлами учета тепла и воды.

Износ основных фондов и их моральное старение, особенно в части систем автоматизации. Подавляющее число энергоблоков в России построены до катастрофы реформ (до 1990-х гг.). Нормативные сроки эксплуатации основного оборудования около 20–30 лет, а компьютерных систем 5–8 лет, но поскольку последние 12 лет практически ничего не обновлялось, то на действующих энергоблоках можно встретить СМ-2, СМ-4, М6000, УКТС и т. п. – технику СССР разработки 1970-х гг. по западным прототипам 1960-х гг. Даже по Москве, при нормативном сроке эксплуатации 25 лет, выработано 400 км тепловых сетей Мосэнерго.

Рост численности обслуживающего персонала в энергосистемах. Численность обслуживающего персонала Мосэнерго в 1992 г. – 37 тыс. чел., в 2002 г. – 47 тыс. чел.

В основе перечисленных негативных тенденций, как и всяких сложных явлений, лежит совокупность факторов. Однако, по мнению многих экспертов и результатов анализа действующих систем, существующий уровень автоматизации энергетических объектов недостаточен для эффективного управления и

функционирования этих объектов, несмотря на большое разнообразие отечественных и зарубежных технических средств, пригодных для обеспечения любого уровня автоматизации. Проблема заключается в консервативных (во многом отсталых, но привычных для пользователей) идеологии и методах управления процессами и объектами, принятых в проектных и эксплуатирующих организациях.

В чем причины стагнации в развитии систем автоматизации энергетических объектов? Перечислим важнейшие из них.

Отсталая методологическая и нормативная база системотехники и проектных работ. Эффективность управления технологическими процессами в энергетике определяется степенью (уровнем) автоматизации решения основных управлеченческих задач:

- управление параметрами материальных потоков (расходом топлива, температурой, расходом и давлением теплоносителя, параметрами пара и др.);
- управление конфигурацией материальных потоков (структурой потоков).

В действующих и создаваемых АСУТП наблюдается дисбаланс уровня научно-методологического обеспечения и уровня автоматизации решения этих двух групп задач.

Задачи управления параметрами потоков решаются на основе принципа управления с обратной связью по отклонению с использованием континуальных моделей динамики параметров потока. Эти модели известны, хорошо изучены и описаны во многих монографиях и учебниках, они лежат в основе конструкции оборудования, на их базе разрабатываются и настраиваются многочисленные регуляторы, защиты, блокировки и измерительные каналы, входящие в АСУТП.

Вторая группа задач – управление конфигурацией потоков – это целенаправленное изменение состава активных элементов объекта и связей между ними и, тем самым, управление структурой потоков с целью перевода объекта в качественно новое состояние. Управление конфигурацией применяется при пусках и остановах объекта, при маневрировании мощностью (производительностью), при профилактике, техническом обслуживании, ремонтах, реконструкции. Эти задачи слабо формализо-

ваны и в системе управления лишь частично представляются событиями, параметрами и командами. Управление структурой потока по сути логическое и, в принципе, должно решаться методами функционально-группового управления на основе «жесткой схемы» конечно-автоматных моделей. Однако в практике создания АСУТП в энергетике (например, в проектах АСУТП АЭС с реакторами ВВЭР-1000) разработчики отказались от функционально-группового управления. Это вызвано тем, что технологические алгоритмы, заложенные в проекте, не совпадают с реальными процессами в действующем объекте даже при незначительных отклонениях в конструкции поставленного оборудования. Другими словами, управление по схеме жестких алгоритмов, заложенных в проекте, несовместимо с изменяющейся на сооружаемом объекте технологией. В силу этого, основные этапы выполнения задач смены конфигурации потоков закрепляются в регламенте, должностных инструкциях и неформальных действиях персонала с помощью ДУ каждым исполнительным механизмом индивидуально. Тем самым в АСУТП закладывается чрезвычайно низкий уровень автоматизации управления. Управление структурой потока может решаться на основе развитых схем использования конечно-автоматных моделей (схем с обратной связью). Однако методическая база применения развитых схем применения конечно-автоматных моделей в практике проектирования не сформирована (хотя в ИПУ РАН имеются теоретические результаты, позволяющие значительно повысить уровень автоматизации).

Сформулированная проблема проявляется в практике проектирования в отсутствии качественной нормативной и методической базы, опирающейся на результаты фундаментальных исследований в области автоматизации. Как результат – отсутствие единой научно-обоснованной политики, которой могли бы придерживаться разработчики современных АСУТП энергоблоков.

Лоскутный характер систем автоматизации различного уровня. Отсутствие системотехнической и методологической основы интеграции систем автоматизации. К сожалению, развилась практика создания АСУТП «по прототипу», суть которой в перелоп-



жении функций «прототипа» на новые технические средства и программное обеспечение. Понятно, что при этом функциональные возможности АСУТП остаются на прежнем уровне и, как правило, ограничиваются контролем отдельных параметров и локальным управлением отдельными механизмами производства. Поэтому необходимо пересмотреть подход к функциональному решению задач управления в рамках АСУТП и ее связь с остальными системами автоматизации.

В 1990-е гг. в сфере промышленной информатизации, в том числе и в энергетике, многочисленные системы автоматизации производства 1970–1980-х гг. (КИПиА, телеметрии, телемеханики, диспетчерского управления, управления складским хозяйством и снабжением и др.) естественным образом сгруппировались в два основных направления – АСУТП (системы автоматизации технологических и производственных процессов) и АСУП (системы автоматизации управленческой и финансово-хозяйственной деятельности предприятия). Системы первого направления реализуются в основном на базе программного обеспечения SCADA или DCS (Distributed Control Systems). Они отличаются высокой степенью интерактивности в управлении при наличии дружественного человеку интерфейса MMI. Системы второго направления относят обычно к классу ERP (Enterprise Resource Planning) – планирование ресурсов предприятия или MRP II (Manufacturing Resource Planning) – планирование ресурсов производства. Системы ERP ориентированы на предприятие в целом, а системы MRP – на его технологические подразделения. В реальности чёткой границы между уровнем управления производством и АСУТП нет, а есть их некоторое совмещение в силу взаимной неразрывности выполняемых функций. До настоящего времени связь между этими направлениями была минимальной, что было обусловлено различными (зачастую несовместимыми) требованиями подразделений и служб предприятий, использующих те или иные средства автоматизации.

Постепенно между АСУТП и АСУП образовалась промежуточная группа задач, называемая MES (Manufacturing Execution Systems). Она возникла вследствие обособле-

ния задач, не относящихся ни к одной из ранее определенных групп.

Одна из причин возникновения такого направления – попытка выделить задачи управления производством на уровне технологического подразделения. В АСУТП также произошло отделение тактических задач оперативного управления технологическими процессами от стратегических задач ведения процесса. Существует огромное количество инструментальных средств реализации управления на перечисленных направлениях. Ситуация осложняется тем, что каждая из систем часто реализовывалась на основе различных аппаратных, программных и информационных стандартов. Отсутствие нормативных служб и единой стандартизации средств управления приводит к неоправданно высоким затратам на обслуживание и модернизацию оборудования. Отсюда возникает актуальность создания для современного промышленного производства единого информационного пространства и интегрированной АСУ, включающей в себя все перечисленные выше направления автоматизации.

Отсутствие механизмов государственного контроля и мотивации в модернизации управленческой составляющей в оборудовании и процессах. Ликвидация отраслевой науки, Минприбора, многочисленных институтов и региональных ПО «Автоматика», АСУ и других подразделений способствовала в условиях нарождающегося рынка передаче заказов на автоматизацию фирмам-интеграторам, определяющий стиль деятельности которых состоит в передпродаже западных разработок путем переложения функций действующих систем на новые более сложные и дорогие технические и программные средства – так называемое, проектирование по прототипу. Это привело, по меньшей мере, к двум негативным последствиям:

- консервируется функциональность АСУТП прошлых десятилетий;
- цены на технические средства и программное обеспечение на рынке России приводят к затратам, которые нельзя компенсировать выигрышем от самой автоматизации. Заказчики и разработчики, не имея достаточных средств для комплексного решения проблемы, вынуждены решать ее фрагментарно.

Далее, это привело к тому, что в экономике России нет ни одной организации или фирмы, которая могла бы конкурировать с мировыми транснациональными корпорациями, такими как «Siemens» (Германия), EDF (Франция) и другими в области автоматизации. Поэтому перед потенциальными заказчиками в России стоит дилемма: либо самим заниматься интеграцией АСУТП из разрозненных кусков российского и зарубежного производства, либо комплексно заказывать работу у крупных зарубежных фирм. Поскольку доля импортных комплектующих в ценовом исчислении превышает долю российских продуктов, заказчику выгоднее полностью размещать заказ за рубежом. Примером может служить решение ЗАО «Атомстройэкспорт» передать контракт на АСУТП АЭС в Китае фирме «Siemens» (стоимость контракта около 150 млн. долл., несмотря на то, что отечественные отраслевые проектные организации явно нуждаются в заказах.

Список сокращений

АЗ – аварийная защита
АО – автооператор
АР – автоматическое регулирование
АРМ – автоматизированное рабочее место
БД – база данных
ДУ – дистанционное управление
ИПУ – Институт проблем управления
КИПиА – контрольно-измерительные приборы и автоматика
НФБД – неформальная БД
ПК – программируемый контроллер
ПЛУ – программно-логическое управление
ПТК – программно-технический комплекс
РТС – районная тепловая станция
СА – система автоматики
СВБУ – система верхнего (блочного) уровня
СМТП – событийная модель ТП
ТОУ – технологический объект управления
ТП – технологический процесс
ТЭС – тепловая электростанция
УКТС – унифицированный комплекс технических средств
ЦТП – центральный тепловой пункт
ММІ – Man-Machine Interface
SCADA – Supervisory Control and Data Acquisition

Отсутствие концептуального подхода к управлению энергоснабжением как к единой системе производства, распределения и потребления энергии от каждого отдельного источника до потребителя включительно. Критерием оценки уровня технологии и автоматизации в комплексной системе энергоснабжения должна быть себестоимость полезного отпуска энергии.

Вследствие организационного и экономического разрыва в цепи производство, распределение и потребление энергии:

- у производителя энергии, перепродавца и покупателя отсутствуют стимулы для экономии и совершенствования производства и услуг;

- формируются тарифы, закрытые для общества;

- не осуществляются легко реализуемые энергосберегающие мероприятия, такие как регулирование перетоков теплоносителя между городскими сетями от принадлежащих разным ведомствам источников тепловой энергии.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ КОНЦЕПЦИИ КОМПЛЕКСНОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

В ИПУ РАН в течение последних 20 лет с разной степенью интенсивности ведутся работы по автоматизации процессов разного уровня в энергетике страны [1–5]. В сотрудничестве с отраслевыми НИИ и проектными организациями накоплен опыт разработки конкретных систем управления [6–8]. Имеются теоретические результаты по новым, более перспективным методам управления поточными технологическими процессами, которые позволяют перейти от управления с помощью принятых сегодня жестких алгоритмов к комплексному управлению по гибкой схеме с обратной связью на основе динамического событийного моделирования структуры производства и процессов [3, 4].

В чем суть комплексного управления на основе динамического событийного моделирования структуры потоков?

Новизна разработанной в ИПУ РАН концепции комплексного управления определяется сочетанием континуальных моделей динамики параметров потоков и событийных моделей структуры потоков.

Модели структуры ТОУ основаны на том, что производственные системы в энергетике с целью преодоления сложности обеспечения эффективного управления, обслуживания и других производственных задач *структурообразуются* (разбиваются) на отдельные компоненты (установки, переделы, участки, технологические подсистемы и т. п.). Разбиение осуществляется на основе специфики протекающих в отдельных частях ТОУ физических процессов (потоков) трансформации материалов, топологии размещения оборудования и восприятия каждого такого компонента как единого целого процесса — некой *конфигурации*. При этом управление конфигурацией объекта есть целенаправленное изменение состава активных элементов объекта и связей между ними и, тем самым, управление *структурой потоков* с целью перехода в качественно новое состояние объекта. Задачи управления конфигурацией, по сути, являются задачами управления структурой потоков. Формирование структуры и ее изменения (реконфигурации) представляются как последовательность работ над фрагментами, имеющими некоторый вполне определенный технологический смысл (технологическую функцию). Компоненты — потоки (фрагменты технологической сети) в ходе производства активизируются (принимают состояние с определенной проводимостью), функционируют, выполняют заданную производственную задачу, утилизируются и т. п. Собственно компоненты — потоки, соответствующие переделам, и есть технологические процессы. Вот это свойство производственных систем — возможность структурирования на потоки и управления ими как едиными компонентами — используется в событийных моделях.

Логическая модель структуры ТОУ названа *технологической сетью* и включает в себя:

- модели компонентов — агрегатов (арматуры, насосов, емкостей и др.);
- модели материалопроводов (пассивных элементов — труб, проводов и др.);
- процессы — технологически востребованные конфигурации (фрагменты технологической сети).

Каждая из моделей наряду с определением структуры компонента (потоковые и информационные входы/выходы и связи) содержит динамическую составляющую — *жизнен-*

ный цикл, который определяет набор технологически востребованных состояний компонента, порядок и условия их смены. Собственно состояния компонентов и конфигураций и образуют *поток событий*, который используется для управления. Поскольку поток событий создают введенные модели и механизмы, они и называны *событийными моделями*.

В каждый момент времени в ТОУ выполняется конкретный набор технологических работ (физических процессов). Поскольку этот набор всегда выбирается из технологически обусловленных работ, то на модельном уровне это соответствует разбиению всех заранее описанных технологически осмысленных фрагментов ТОУ на подмножество активных и пассивных процессов. *Функционирование событийной модели* заключается в преобразованиях текущих состояний всех агрегатов и множеств активных и пассивных процессов в последующие. Эти преобразования выполняются циклически, на основе потока событий, по определенным правилам. Событийная модель содержит информацию, необходимую оператору для анализа состояния структуры ТОУ и принятия решений при запуске, мониторинге и гашении процессов, и все данные, используемые в жизненных циклах моделей процессов при их выполнении.

Формализация представления структуры ТОУ и динамики ее преобразования в виде описанных событийных моделей позволило разработать *механизмы управления процессами* как потоком технологических работ. Поскольку эти механизмы, по сути, заменяют (имитируют работу) оператора при управлении конфигурацией ТОУ, для простоты изложения будем считать, что они реализуются автооператором.

При запуске конкретного технологического процесса АО в событийной модели ТОУ активизирует экземпляр объекта модели процесса, который является моделью реального ТП. Атрибуты модели ТП — структура, состояния жизненного цикла, параметры потока, состояние функций защиты и автоматического регулирования — отражают все, что происходит в реальном ТП во всех фазах его жизненного цикла (проверка реализуемости, запуск, работа в заданном режиме, разборка и т. д.).

Реальный процесс активизируется путем пошаговой настройки всех его агрегатов на состояния, опреде-



ленные в модели ТП и формируемые в соответствии с отклонением текущего состояния технологической сети от требований ТП. Процедуры настройки агрегатов по данным анализа технологической сети выполняются АО.

Поведение АО определено так, что вся функциональность АСУТП направлена на обслуживание запросов моделей технологических процессов, т. е. на обеспечение выполнения динамики их жизненных циклов. Процессы, в свою очередь, выстроены вокруг материальных потоков и призваны обеспечить их функционирование в соответствии с тактическими целями производства. При этом схема комплексного управления процессами в АСУТП представляется в виде следующей циклической процедуры.

1. Работает СА нижнего уровня: структура потоков определена активными процессами; потоки функционируют под управлением регуляторов, защит и блокировок. Формируется множество актуальных событий.

2. Вычисляется состояние событийной модели технологической сети; анализируются состояния активных и пассивных процессов; если коррекции множества активных и пассивных процессов не требуется, то п. 1, иначе п. 3.

3. Определяется тип коррекции, вычисляется отклонение текущего состояния структуры от требуемого и выполняется один из вариантов: запуск независимого процесса; гашение независимого процесса; запуск присоединяемого процесса; гашение присоединенного процесса; реконфигурирование активного процесса. Обновляются множества активных и пассивных процессов; цикл повторяется с п. 1.

Заметим, что при управлении конфигурациями цель управления заключается в формировании конкретной структуры (или фрагмента структуры ТОУ), следовательно, описание требуемой структуры и есть задание цели. Содержание цели – определение фрагмента структуры, требуемых состояний компонентов, параметров потоков и настроек для автоматических управляющих процедур (защит, блокировок, регуляторов и т. п.), действующих над компонентами, если они специфицированы для данной цели. Поэтому такое управление является комплексным.

Важно отметить, что модель агрегата такова, что, с одной стороны, реагирует на события – команды сменой состояния и генерацией соответствующих событий; с другой стороны, позволяет с помощью специальных процедур, исходя из текущего состояния сети и цели функционирования, определить требуемое управление на агрегат при его настройке.

Модель ТП в схеме управления служит для представления в АСУТП состояний реальных процессов и имитации их выполнения сменой состояний жизненного цикла модели как функции команд и событий, поступающих в систему, а также для задания цели в задачах управления конфигурацией (координацией).

Благодаря указанным свойствам событийных моделей удалось построить схему управления процессами, основанную на обследовании текущего состояния структуры технологических потоков по их логической модели, с применением в механизмах управления структурой потоков *принципа управления с обратной связью по отклонению* текущего состояния структуры от требуемого.

Анализ возможностей методов управления структурой с помощью событийных моделей показывает, что разработка на их основе SCADA-систем нового поколения позволит коренным образом повысить уровень автоматизации технологических процессов.

В оперативном контуре управления предложенные механизмы *потокового* управления позволяют операторскому персоналу работать не с отдельными исполнительными механизмами и агрегатами, а с материальными потоками, выделяемыми в процессе функционирования объектов. Таким образом, с оператора снимается значительная часть нагрузки в плане мониторинга и управления конкретными агрегатами, что ведет к снижению числа аварийных ситуаций, повышению качества выходного продукта, увеличению производительности труда и повышению эффективности управления.

Итак, применение нового подхода к автоматизации на основе событийных моделей ТП значительно повышает уровень автоматизации и, тем самым, эффективность управления и обеспечивает:

- повышение уровня управляемости технологии за счет введения системных процедур, ведения технологических процессов, включая

проверку реализуемости, запуск наблюдения за ходом выполнения, разборку, сигнализацию, срабатывание защит, запуск основным процессом вспомогательных и т. д., дополнительные возможности контроля деятельности оперативного персонала, проверку корректности заданий на технологические процессы, применение «потоковых» блокировок и др.;

- упорядочивание использования ресурсов, так как ресурс закрепляется за процессом;
- учет и управление ресурсами – контроль выработки моторесурса, планирование ремонта по состоянию агрегатов, замены оборудования, восполнения расходуемых материалов и др.;
- управление знаниями – позволяет оценить уровень автоматизации и степень загрузки персонала, а также качество работы персонала.

2. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА СОСТОЯНИЯ АСУТП В ЭНЕРГЕТИКЕ

2.1. Энергетические комплексы как объекты автоматизации

На каждом этапе развития автоматизации направления, объём и уровень технических решений при построении управляющих систем определяются свойствами объектов автоматизации как объектов управления и свойствами основных средств автоматизации, а именно, технических средств сбора, передачи, распределения и обработки информации и исполнительных средств, инструментальных средств проектирования, подготовки к пуску и обслуживания в процессе эксплуатации.

Достаточно типична следующая технологическая структура энергетических станций: в значительной степени автономные группы агрегатов и оборудования, объединяемые общим источником энергии – энергоблоками, и общестанционные технологические комплексы.

Для энергетических комплексов – тепловых, атомных и гидравлических станций – значительная часть их свойств, определяющих технические решения по автоматизации, являются общими. К ним следует отнести:

- многорежимность функционирования – пуск, работа на номинальных (нормальных) уровнях мощности, маневрирование мощностью (необходимость перехода



- дов с одного номинального на другой уровень мощности), работа в условиях предаварийных и аварийных состояний отдельных технологических агрегатов и комплексов, вывод в безопасное состояние станции при возникновении аварий, останов станции в целом или отдельных её технологических комплексов;
- критичность к нарушениям баланса энергии в статике и в той или иной степени в динамике в технологических цепочках агрегатов от источника энергии (котла, реактора, турбины) до выходных электротехнических установок;
 - многоагрегатность и жёсткость координации функционирования агрегатов по режимам работы станции;
 - непосредственная для персонала и экологическая опасность нарушений номинальных условий функционирования многих технологических агрегатов;
 - значительные экономические потери от попадания оборудования в аварийные состояния и от простоев энергоблоков станции;
 - достаточно высокий уровень структуризации технологических агрегатов и оборудования, обусловленный широким применением идеологии блочности компоновок при проектировании станций.

2.2. Функциональные и структурные решения в действующих АСУТП на энергетических объектах

Для определения причин отсутствия роста уровня автоматизации, несмотря на прогресс в технических средствах и базовом программном обеспечении, необходимо разобраться в основах построения схем управления в АСУТП.

Общепризнанное направление развития архитектур современных и перспективных АСУТП для поточных производств заключается в распределенности и децентрализации управления технологическими процессами. Распределенные и децентрализованные системы разрабатываются на основе декомпозиции (разбиения) алгоритмов на компоненты в соответствии с естественным разбиением технологических функций объекта и алгоритмов контроля и управления установками (по горизонтали) и в соответствии с разбиением алгоритмов управления по иерархическим уровням (по вертика-

ли). Так, например, в действующих АСУТП на предприятиях энергетики принято разбиение алгоритмов по вертикали по трем иерархическим (нижний, средний и верхний) уровням управления.

- *Первый уровень* (нижний) включает в себя защиты и блокировки, локальные регуляторы, первичную обработку аналоговых и дискретных сигналов, отработку команд ДУ на исполнительные механизмы. Здесь решаются задачи управления комплексом технологических агрегатов и оборудования только в основных (базовых) режимах, например, в стационарном режиме на заданной мощности с минимальным набором задач, связей, и простейшими алгоритмами, не требующими непрерывного привлечения для обработки информации высших уровней. Такая компоновка задач нижнего уровня позволяет обеспечить максимальную надежность системы для основного номинального режима работы станции. Образно говоря, этот уровень должен быть «железобетонным» по показателям надежности.

- *Второй уровень* (средний) включает в себя задачи координации взаимодействия агрегатов оборудования во всех режимах функционирования станции (функционально групповое или программно-логическое управление отдельными установками), блокировки, защиты в рамках энергоблока, оптимизация режимов эксплуатации (выравнивания энергетических полей, выбора температурных режимов и т. п.), диагностирования агрегатов, оборудования и средств первого уровня, реконфигурации структуры средств первого уровня при отказах, учета наработок, выдачи информации на верхние уровни системы.

- *Третий уровень* (верхний) включает в себя алгоритмы управления объектом в целом и информационную поддержку оператора. Здесь решаются задачи контроля работы всего энергоблока и систем управления первого и второго уровней, анализа аварийных ситуаций, выходящих за рамки возможностей нижних уровней, а также запроектных аварийных ситуаций, обеспечения информации и включения в процессы управления оперативного персонала.

Приведенное разбиение задач контроля и управления определяет типичную иерархическую функциональную структуру АСУТП энергетических объектов.

Совокупность технических средств целесообразно структурировать «по вертикали», т. е. по уровням, аналогичным функциональной структуре, и «по горизонтали», т. е. привязываясь к достаточно автономным группам технологических агрегатов и оборудования или достаточно автономным функциям системы. Названная целесообразность определяется требованиями к показателям надежности и живучести, независимого монтажа и отладки групп технологического оборудования или условиями их пуска (останова), а также требованиями блочной модернизации оборудования энергоблоков.

Структуризация «по горизонтали» сводится к выделению функциональных подсистем. При структуризации «по вертикали», как правило, выделяют три уровня, в основном ориентированные на три уровня функциональной структуры:

- *первый уровень* (нижний) – максимально унифицированные (по набору типовых средств, но не по их объему), ПТК, содержащие устройства связи с объектом и другими ПТК, исполнительные автоматы и ПК;
- *второй уровень* (средний) – совокупность ПК, взаимодействующих через локальную сеть и обрабатывающих задачи второго уровня функциональной структуры.
- *третий уровень* (верхний) – АРМ операторов, экраны и мнемосхемы общей обстановки, функциональные командные органы, объединяемые, как правило, в блочные пульты управления, резервные пульты, пульты критических, аварийных ситуаций, пульты диагностирования и технического обслуживания всей системы.

В случае особо крупных энергоблоков или энергоблоков, состоящих из средств разных поколений, в структуру включено ограниченное число местных постов управления, предназначенных для управления отдельными агрегатами или группами средств нижнего уровня в режимах отладки и тестирования оборудования, при пусках, остановах или эксплуатации не по штатным технологическим схемам, для углубленного контроля состояния отдельных единиц оборудования.

Все действующие в энергетике системы автоматизации ТП вписываются в традиционную пирамиду систем промышленной автоматизации технологии (рис. 1), ставшую графической метафорой функциональных возможностей всех извест-



ных западных систем автоматизации технологии таких компаний, как «Siemens», «Allen-Bradley», «Modicon» (см. проспекты этих фирм 1980–1990-х гг.), и обсуждаемую в ряде публикаций аналитиков. Пирамида символизирует широкие возможности системы средств автоматизации по связи с исполнительными механизмами M , датчиками S и технологическими процессами через модули ввода/вывода (I/O) – самый нижний слой у основания пирамиды; средний слой – сеть ПК – это инструмент локального управления путем реализации стандартных функций управления (ДУ, АЗ, ПЛУ, АР, сигнализации – ALARM и т. д.), а вершина пирамиды – сервер и АРМ – средства реализации задач управления верхнего уровня системы и через сервер связь с другими системами.

Приведенная на рис. 1 структура является обобщением, ее воплощение на различных объектах различное.

- В атомной энергетике на всех действующих станциях на первом уровне УКТС (монтажная логика); на втором уровне комбинированная логика (УКТС + ПК + возможно, локальная сеть); на третьем уровне сеть компьютеров, включающая в себя сервер и АРМ оперативного персонала и пульты с приборами и средствами индивидуального управления. На некоторых объектах имеются отдельные подсистемы с контроллерной техникой на первом уровне. В проектах реконструкции (Калининская АЭС) предусматривается контроллерная техника (средства программируемой автоматики с пременной структурой разработки ИПУ и «Teleperm» в исполнении ВНИИА).

- В тепловой энергетике на большинстве станций ситуация аналогична и даже оснащенность операторских в основном «пультовая». Однако на отдельных станциях, сооруженных в 1980-х гг., и станциях, модернизированных в 1990-е гг., технические средства достаточно современны: первый и второй уровни – сети ПК различной производительности и специализации, третий уровень – сервер и сеть АРМ, пульт с индивидуальными приборами сокращен до минимума.

В 1999–2002 гг. на предприятиях энергетики начался интенсивный процесс реконструкции существующих систем автоматизации, в котором активно участвует ряд компаний-интеграторов (АЭП, ВНИИА, СНИИП, ВТИ, ТЕКОН и многие

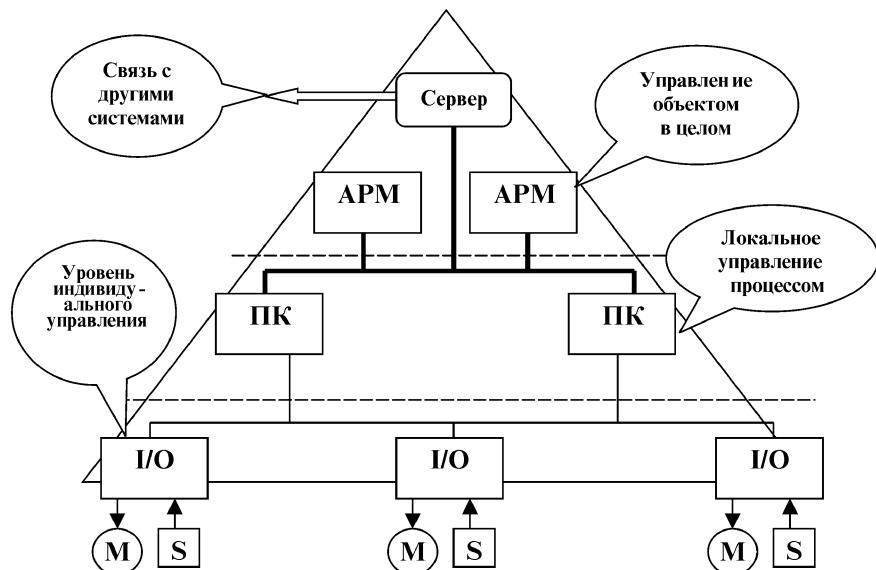


Рис. 1. Традиционная структура АСУТП

другие). Не вдаваясь в детальный анализ различий, недостатков и преимуществ, рассмотрим их основные возможности с точки зрения способности к интеграции в условиях коммерчески самостоятельных генерирующих предприятий, а именно, к обеспечению потребности и доступа специалистов всех уровней к постоянному источнику информации не только для того, чтобы управлять процессом, но и принимать конструктивные решения в вопросах управления производством в целом.

Основные общие свойства предлагаемых решений:

- трех-двухуровневая структура АСУТП: нижний уровень – локальная сеть ПК, верхний уровень – сервер и сеть рабочих станций (АРМ персонала);
- применение на верхнем уровне SCADA-системы;
- функциональная концепция построения системы управления, основанная на модели ТОУ как совокупности параметров, команд и функций; при этом параметры характеризуют технологический процесс, команды на исполнительные механизмы формируются оперативным персоналом и (или) типовыми функциями управления ДУ, АР, АЗ, ПЛУ, ALARM и др.

Основное достижение на современном этапе, проявившееся в той или иной степени во всех перечисленных системах, заключается в ис-

пользовании SCADA-системы как аккумулятора проектного опыта. В самих SCADA-системах основная новация состоит в развитой системе визуализации модели ТОУ как наборе данных в виде всевозможных мнемосхем с аппликацией динамики, построения трендов любых параметров с привязкой к реальному времени, ведении архива параметров, событий и отчетности.

Система SCADA поддерживает «клиент – серверную» открытую архитектуру. Основной сервер системы осуществляет сбор информации от низовых устройств управления и датчиков, ее обработку и выдачу оператору. Кроме того, он связан с общей базой данных АСУТП. Открытая архитектура позволяет выбирать различные компоненты программного и аппаратного обеспечения независимо от их производителей. В результате расширяются функциональные возможности системы и снижается ее стоимость. Наиболее известными такими расширениями стали продукты iFix компании «Intellution Inc.»; InTouch 4.0 («Wonderware Software Development Corp.»); FactoryLink IV («United States Data Corp.»); Plantworks (IBM); OnSpec («Heuristics Inc.»); Iconics («Genesis»); Paragon («Intec Controls Corp.»). Из отечественных продуктов следует отметить SCADA-систему «ОПЕРАТОР» ИПУ РАН, пакеты Trace Mode московской фирмы «AdAstra», хорошо зарекомендовавшие себя в энер-



гетике, нефтяной и металлургической отраслях.

Таким образом, с точки зрения технических средств АСУТП (системы ПК + серверы различных отечественных и зарубежных производителей) и базового программного обеспечения (SCADA-системы + современные фирменные СУБД) имеются все возможности для создания конкурентоспособных АСУТП. Однако методологическая база АСУТП значительно отстала от средств.

К сожалению, как уже отмечалось, развила практика создания АСУТП «по прототипу», т. е. с применением новых технических средств и программного обеспечения функциональные возможности АСУТП остаются на прежнем уровне и, как правило, ограничиваются контролем отдельных параметров и локальным управлением отдельными механизмами производства.

Действующие системы автоматизации на предприятиях нуждаются в коренной реконструкции. Это вызвано:

- чрезвычайно низким и неравнoprочным уровнем автоматизации, применением технических средств, не обеспечивающих стыковку с современными системами управления производственной информацией;
- новыми условиями функционирования, обусловленными рыночной экономикой – руководство и специалисты генерирующих компаний и региональных ОАО, ответственные за коммерческую деятельность компаний, должны точно знать, какими ресурсами они располагают по топливу на сегодня, каково состояние оборудования и режим работы станции с точки зрения того, что может быть получено завтра.

Структурные изменения 1990-х гг. в энергетике в сфере автоматизации привели к потере роли отраслевых НИИ как инструментов выработки и проведения научно-технической политики. Многообразие технических и программных средств, структурных и архитектурных решений, функциональных возможностей и степени участия АСУТП в каналах управления технологией – вот определяющие характеристики действующих систем на предприятиях энергетики. У руководства департаментов автоматизации различных региональных ОАО появилась проблема выбора дальнейшего развития систем.

С одной стороны, объем автоматизации увеличился, сложность и стоимость аппаратуры возрастает

(современные ПК, серверы, сети, SCADA-системы), затраты ресурсов и времени на проектные работы увеличились, требования к квалификации обслуживающего персонала и затраты на обслуживание возросли.

С другой стороны, интеллектуальный уровень (глубина автоматизации) вот уже 20–30 лет не изменяется. Практически в существующих системах автоматизируются функции телеметрии, автоматического регулирования, защиты и блокировок по параметрам, дистанционного и в лучшем случае функционально-группового управления. В функциональном отношении сегодняшние АСУТП практически совпадают с системами КИПиА 1960–1970-х гг. Поэтому имеются потери из-за несовершенства АСУТП: несоблюдение регламента с вытекающими отсюда последствиями; нарушение норм эксплуатации оборудования; слабый контроль работы персонала; нередки производственные потери по причине конфликта потока «технологических действий», планируемых персоналом, и ремонтных и профилактических работ, планируемых в АСУП; «прозрачность» процессов для внешних контуров управления технологией недостаточна (обеспечивается лишь на уровне параметров процессов); степень контроля работы оборудования неудовлетворительна для задач АСУП (контролируется работа только автоматизированных приводов).

В значительной мере неравномерным и зачастую неудовлетворительным уровнем автоматизации объясняется низкий КПД источников энергии в городских хозяйствах.

2.3. Анализ функциональности современных АСУТП

В системах управления сложных технических объектов, в том числе объектов энергетики, на процессы параллельно воздействуют десятки (иногда и сотни) различных субъектов управления (устройств, каналов, структур, служб), имеющих различные природу, место расположения и инструменты воздействия на процессы. При этом используются всего три приема (схемы) управления, которые в системотехнике принято называть видами управления.

• *Управление параметрами потоков* (фазовое, координатное) – управление в контурах автоматического регулирования (регулирование уровня, температуры, давления, расхода и

др.). В составе АСУТП эти контуры управления реализуются многочисленными регуляторами на нижнем уровне (УКТС, КИПиА, ПК).

• *Управление структурой (конфигурацией) объекта* – целенаправленное изменение состава активных элементов объекта и связей между ними и тем самым управление структурой потоков с целью перехода в качественно новое состояние объекта. Управление конфигурацией используется при пусках и остановах объекта, при маневрировании мощностью (производительностью), профилактике, техническом обслуживании, ремонтах, реконструкции. Это управление реализуется в контуре оперативного управления АСУТП в основном средствами ДУ и (или) персоналом (обходчиками) для неэлектрифицированной арматуры. Конфигурация потоков изменяется и средствами автоматической защиты, однако это скорее необходимость локального изменения структуры, чем целенаправленное изменение структуры.

• *Управление техническим состоянием* применяется с целью обеспечения работоспособности объекта и самой системы управления. Оно реализуется в контуре неоперативного управления и по сути является супервизорным. Управление техническим состоянием инициируется и планируется технологами, административным персоналом, плановыми службами и осуществляется инженерными службами, ремонтными подразделениями и т. п.

Рассмотрим, как различные средства АСУТП участвуют в решении задач управления технологическими процессами и состоянием оборудования.

Под *каналом управления* далее будем понимать совокупность аппаратных, программных, организационных и иных компонентов, участвующих в выполнении какой-либо функции (задачи) управления. Можно выделить следующие каналы (рис. 2):

- автоматический контур: каналы измерения и управления (нижний уровень АСУТП, включая регуляторы, блокировки и т. д.) – здесь в основном решаются задачи управления фазовыми координатами потоков;
- операторский контур: каналы, включающие в себя оператора, компоненты верхнего и нижнего уровней АСУТП – здесь решаются задачи управления параметрами (режимами) установок и отдельных приво-



дов и управления конфигурацией объекта (структурой потоков);

- супервизорный контур – здесь решаются задачи разработки рекомендаций по управлению параметрами (режимами) установок на основе анализа ситуации (хода процесса) технологом, управления специалистами техническим состоянием технологического оборудования (организация профилактики, ремонта, модернизации и т. п.) и определения целей (задач) изменения структуры объекта средствами операторского контура.

Управление в человеко-машинной системе, каковой является АСУТП, строится по следующей *традиционной схеме*.

Шаг 1. Оценка ситуации и определение рассогласования между текущим и требуемым состояниями объекта.

Шаг 2. Оценка рассогласования. Если рассогласование в пределах нормы, то переход к шагу 1, иначе шаг 3.

Шаг 3. Определение реально достижимого состояния, наиболее близкого к исходному.

Шаг 4. Определение последовательности управляющих воздействий на исполнительные механизмы, переводящей объект из одного состояния в другое.

В данной схеме принципиальны два момента: выбор параметров для определения состояния системы (объекта) и обеспечение перехода из одного состояния в другое путем вы-

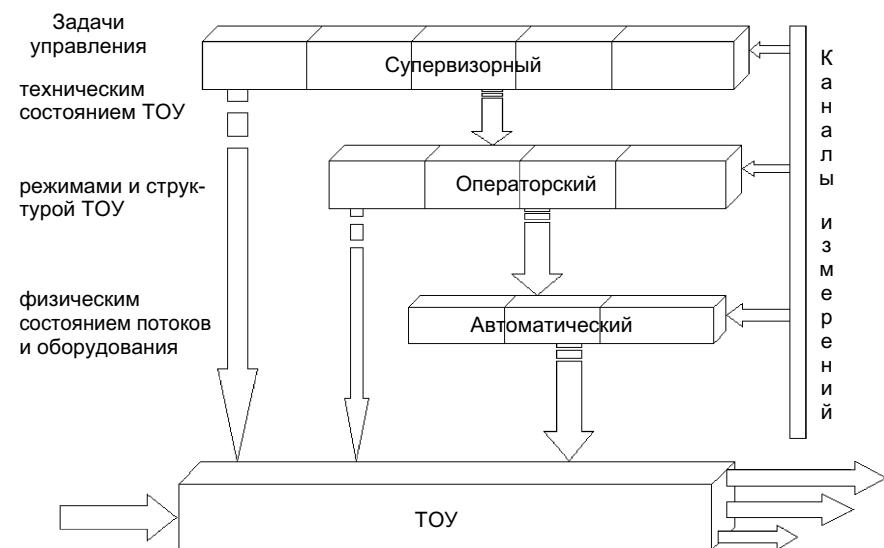


Рис. 2. Каналы управления технологией

дачи оператором последовательности команд – воздействий на исполнительные механизмы или запуска процессов, осуществляющих этот переход.

В таблице указаны средства, применяемые в каждом из каналов для управления по традиционной схеме.

Схема управления предполагает работу диспетчера с двумя БД – формальной, поддерживаемой SCADA-системой, и НФБД, отражаемой в знаниях персонала и должностных инструкциях (рис. 3). В НФБД так-

же аккумулируется опыт персонала («ноу-хау») по выполнению задач управления для преобразования потоков, оценке состояния материальных «носителей» потоков – арматуры, клапанов, насосов и т. д. Ею пользуется и административный персонал при составлении заявок на профилактику и ремонт оборудования.

Таким образом, НФБД является фактически основной в деятельности оперативного персонала и более информативной. Она находится вне АСУТП и поэтому недоступна вы-

Средства АСУТП, применяемые в различных каналах для управления по традиционной схеме

Этапы	Каналы		
	Автоматический	Операторский	Супервизорный
Сбор данных	Датчики, измерительный тракт	Датчики, измерительный тракт	Датчики, измерительный тракт
		Визуальный осмотр	Визуальный осмотр оборудования
Анализ данных	Формирование отклонения, «собственные» данные, «смежные» агрегаты	Регламент, формирование инициирующего события	Тренды параметров, отчеты
	Смежные производства		НФБД, формирование инициирующего события
Принятие решения	Регуляторы П, ПИ, ПД, ПИД	Оператор, технолог, НФБД	Процедуры подготовки решения
		Мнемосхема, регламент, тренды параметров	
Выполнение	Автоматические устройства	Операции (ДУ или «ручные») настройки выбранной структуры	Восстановление штатного состояния оборудования
		Смена параметров регуляторов	
		Смена характеристик агрегатов	



Рис. 3. Соотношение формальной базы данных и системы понятий, с которыми работает оператор

шестоящим информационным системам, какие бы глубокие и продвинутые системы коммуникации мы ни привлекали для интеграции этих систем. Фактически оперативность и точность решения задач управления структурой потоков зависит от субъективного фактора, вследствие чего возникают многочисленные потери в технологии.

Отсюда следует вывод: традиционные SCADA-системы, хотя и представляют много средств для ведения БД параметров и их визуализации, неудовлетворительны с точки зрения снижения нагрузки на оперативный персонал, аккумуляции «умений», генерации исходных данных для АСУ шестоящих уровней.

Для выяснения «точек роста» функциональности АСУТП проведем качественный анализ соотношения задач АСУТП и оснащенности каналов управления средствами АСУТП.

Приведенная таблица отражает и схему выполнения задач каналов. Эффективность АСУТП определяется степенью (уровнем) её участия в их выполнении.

Задачи канала управления фазовыми координатами потоков (давлением, температурой и т. п.) решаются на основе принципа управления с обратной связью по отклонению с использованием хорошо изученных континуальных моделей динамики потока и выполняются автоматически даже в самых простых системах (в таблице автоматическое выполнение задач помечено серым цветом;

как видно, он преобладает в данной колонке). Возможности автоматизации здесь еще не исчерпаны, однако, это не тема данной публикации.

Задачи операторского и супervизорного каналов, в особенности управление конфигурацией и техническим состоянием, по сути, являются задачами управления структурой потоков. Формирование структуры и ее изменения (реконфигурации) представляются как последовательность работ над фрагментами, имеющими некоторый вполне определенный технологический смысл (технологическую функцию). Эти задачи управления слабо формализованы и в системе управления лишь частично представляются событиями, параметрами и командами. Основные этапы выполнения таких задач закрепляются в регламенте, должностных инструкциях и неформальных действиях персонала, при их исполнении использующего графическую модель таких фрагментов — мнемосхему и средства ДУ арматурой. Как видно из таблицы, основные средства, представляемые АСУТП для задач этих каналов — мнемосхема и тренды по параметрам. Поскольку это графические модели, то они доступны только для визуального анализа, выполняемого персоналом умозрительно в НФБД. Таким образом, основные инструменты анализа — НФБД и регламенты — находятся, как уже отмечалось, вне АСУТП (см. рис. 3). Низкий уровень автоматизации этих каналов иллюстрируется соотношением серого и белого цве-

та в соответствующих столбцах таблицы.

Сформулируем основные проблемы, часто встречающиеся при создании интегрированных систем автоматизации.

- Трудности оперативного персонала в реализации традиционной схемы управления в связи с необходимостью постоянного перехода от формальной БД (по параметрам, хотя и визуализированным) к потокам НФБД и, в особенности, к реализации процедур управления исполнительными механизмами и преобразования структуры потоков с помощью неформализованных (или слабо формализованных) процедур — например, указаний обходчикам и др.
- Интеграция в составе региональных ОАО и РАО ЕЭС требует «прозрачности» не только по данным (значениям параметров), но и по технологическим процессам — каким путем были достигнуты эти значения и что будет с ними через некоторый промежуток времени. Важно знать, какое оборудование задействовано в образовании данного количества энергии.
- Последовательность действий оперативного персонала по организации сложных ТП (процедуры управления инициализацией ТП, поддержанием регламентных параметров исполнения ТП и его оптимизация) находится вне системы. Не происходит накопления знаний («ноу-хау»).
- Управление ресурсом оборудования, участвующего в конкретных технологических цепочках (последовательностях), невозможно на уровне модели ТОУ как набора данных: управление технологическими последовательностями не входит в задачи SCADA-систем, и поэтому в их составе нет соответствующих инструментов; во-вторых, значительная доля запорной арматуры, участвующая в технологическом процессе, не электрифицирована, а, следовательно, ее нет в БД, и она не участвует в «анимационных» картинках.
- Управление качеством требует ведения архива АСУТП не только по параметрам, но и по процедурам, использованным в организации ТП.

Стремление решить перечисленные проблемы приводит к заключению о необходимости декларации новых идей (принципов) и разработки новых механизмов организации систем управления технологическими процессами.



3. СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ РАЗЛИЧНЫХ УРОВНЕЙ

3.1. Создание SCADA-систем нового поколения

В ИПУ РАН получены теоретические результаты по новым методам управления структурой ТОУ с поточной технологией [3–5]. Суть этих результатов в построении логического управления структурой на основе динамического событийного моделирования объекта. Разработаны принципы построения событийных моделей для агрегатов, технологических процессов и технологических сетей, характерных для энергетического производства. Разработаны механизмы функционирования событийных моделей и механизмы управления структурой ТОУ при типичных операциях над ТП: запуск, гашение, реконфигурация и т. п.

Краткое неформальное изложение сути динамического событийного моделирования структуры потоков и комплексного управления на основе этого моделирования представлено в § 1. Здесь мы изложим назначение моделей и несколько подробнее схему управления.

Набор событийных моделей, включая модель агрегата, модель ТП и модель структуры производства – технологическую сеть, достаточен для имитации описанной схемы поведения структуры потоковой технологии. В этих моделях, атрибутах и жизненных циклах достаточно информации для управления ТОУ.

Модель технологической сети TN предназначена для моделирования структуры производства, цель которого заключается в организации и поддержании требуемых параметров различного рода потоков (например, потоков топлива, теплоносителей, охлаждающей воды, электроэнергии и др.).

Модель агрегата предназначена для представления в АСУТП структуры преобразователя потока (узла) и имитации его работы сменой состояний жизненного цикла как функции команд и событий, поступающих на него. Состояния жизненного цикла представляют операции, выполняемые узлом над входным потоком. Модель узла содержит функции (задачи) управления преобразованием потока, проходящего через узел (функции регуляторов, защит, блокировок).

Модель ТП предназначена для представления в АСУТП состояний

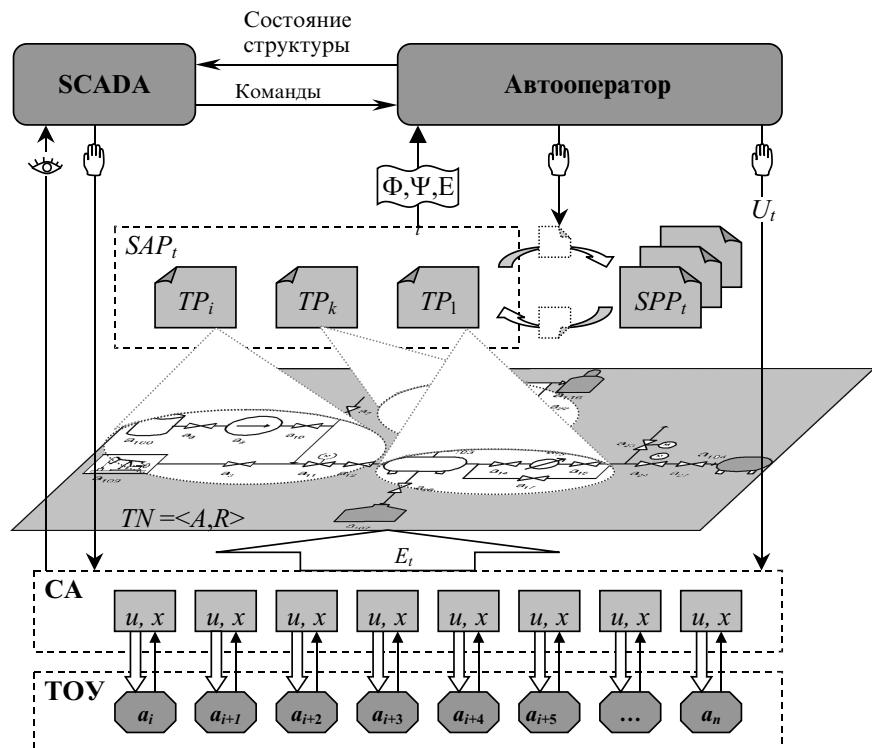


Рис. 4. Схема управления ТП на основе событийной модели

реальных процессов и имитации их выполнения сменой состояний жизненного цикла модели как функции команд и событий, поступающих в систему. Модель характеризуется: структурой; событием и временем начала; событием и временем окончания; основными параметрами потоков в заданной структуре; множеством технологически осмысленных состояний (режимов); условиями (правилами) его запуска и существования; жизненным циклом. Состояния жизненного цикла представляют собой фазы выполнения процесса: проверка реализуемости, подготовка к выполнению (настройка агрегатов на требуемые операции и запуск обеспечивающих процессов), выполнение технологического процесса в заданном режиме и разборка процесса при наступлении соответствующего события.

Схема управления на основе событийных моделей конструируется так, чтобы вся функциональность АСУТП была направлена на обслуживание запросов моделей ТП, т. е. на обеспечение выполнения динамики их жизненных циклов. Процессы, в свою очередь, выстроены вокруг материальных потоков и призваны обеспечить их функциониро-

вание в соответствии с тактическими целями производства.

Схематически управление процессами на основе событийной модели представлено на рис. 4. Процедуры управления выполняются автооператором.

При выполнении конкретного технологического процесса АО в событийной модели EM активизирует экземпляр объекта TP_j , который является моделью реального ТП. Это обеспечивается перемещением объекта TP_j из множества пассивных SPP_t в множество активных SAP_t процессов. Атрибуты объекта TP_j – структура, состояния жизненного цикла, параметры потока, состояние функций защиты и автоматического регулирования – отражают все, что происходит в реальном ТП во всех фазах его жизненного цикла (проверка реализуемости, запуск, работа в заданном режиме, разборка и т. д.).

Функциональность АО определена совокупностью процедур – операций над процессами TP_j и моделью технологической сети TN , которые обеспечивают запуск и гашение независимых процессов, присоединение и отсоединение процессов к действующим и реконфигурацию

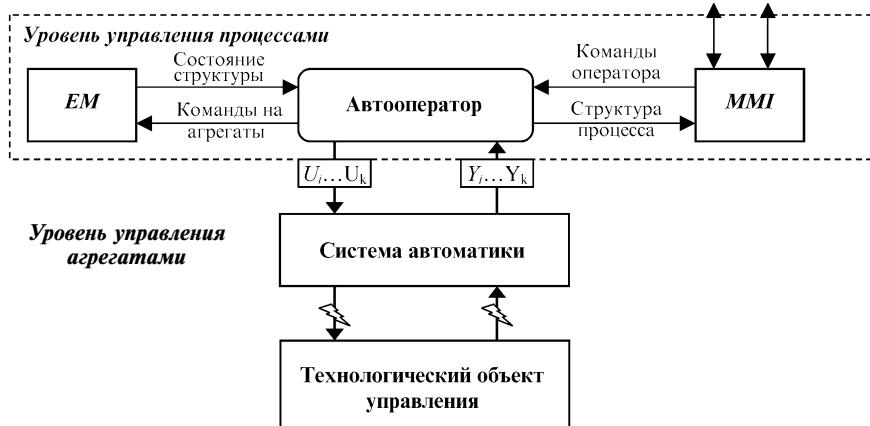


Рис. 5. Обобщенная структура АСУТП на основе событийного управления

действующих. Каждая из этих операций выполняется на основе сравнения реального состояния модели технологической сети TN и требований процесса TP_j и формируется управление (по отклонению) только на те узлы, состояние которых не соответствует требованиям процесса TP_j . Каждый активизированный процесс ответственен за часть реальной технологической структуры (на рис. 4 это показано высвечеными овалами); таким образом модели ТП управляют структурой потоков в соответствии с целями производства.

Таким образом, предложено включение механизмов управления на верхнем уровне АСУТП по следующей схеме: ТОУ \leftrightarrow СА \leftrightarrow [АО \leftrightarrow \leftrightarrow EM \leftrightarrow MMI \leftrightarrow Оператор] (рис. 5), квадратные скобки означают рамки событийной модели.

Отметим, что все процессы ведут себя одинаково, отрабатывая подобные жизненные циклы (с точностью до количества и имен конкретных механизмов или исполнителей). Поэтому схема управления выстраивает иерархию процессов, где каждый вышерасположенный процесс взаимодействует со своими компонентами (которые, в свою очередь, тоже могут быть процессами) по определенному сценарию (протоколу).

Предложенное комплексное управление по схеме замкнутого контура на основе событийных моделей предусматривает реализацию традиционных функций верхнего уровня средствами SCADA-системы (компоненты MMI), но вместе с тем предоставляет инструменты для мониторинга, управления и ведения базы данных процессов и событий, с ними связанными; тем самым достига-

ются цели повышения качества ведения ТП, снижения нагрузки на персонал и обеспечения «прозрачности» АСУТП для корпоративных информационных систем.

Анализ возможностей предложенных методов комплексного управления показывает, что на их основе целесообразно создание SCADA-систем нового поколения, обобщенная архитектура которых представлена на рис. 5.

Основные компоненты предлагаемой системы: событийная модель **EM**, включающая в себя модели агрегатов, объединенных в модель технологической сети TN , и модели процессов $TP = \{TP_j | j \in I_{Tp}\}$, АО – совокупность упомянутых процедур – операций над процессами TP_j ; MMI – модули традиционных SCADA-систем.

Управление процессами предлагается реализовать на основе событийной модели **EM** по следующей схеме:

- в ТОУ функционируют процессы (потоки), оборудование индивидуально контролируется и управляет системой автоматики, все происходящее архивируется и отображается средствами MMI;
- модель **EM** отслеживает изменения в объекте по потоку событий путем периодического пересчета жизненных циклов агрегатов из модели TN , процессов из множества $TP = \{TP_j | j \in I_{Tp}\}$ и функций готовности Ψ для всех $TP_j \in SAP_j$, как это определено выше, имитирует состояниями своих компонентов реальные процессы;
- автооператор, в соответствии с потоком событий от **EM** и через

MMI от оператора имитирует действия последнего по анализу состояния ТОУ, сопоставлению этого состояния с требованиями активизированных процессов и вырабатывает команды ДУ на исполнительные механизмы ТОУ в соответствии с требованиями моделей процессов.

Механизмы управления предусматривают формирование команд управления на основе отклонения текущего состояния структуры технологической сети от требований к структуре со стороны технологического процесса. Отклонение определяется по результатам обследования структуры потока по его событийной модели.

Таким образом, схема управления должна обеспечивать выполнение всех требуемых потоками задач над процессами, отслеживать их динамику по жизненному циклу и по требованию последнего осуществлять диалог с оператором в заданных рамках (в заданном диапазоне в соответствии с регламентом и должностными инструкциями). В этом случае оператор выступает как исполнитель. Напротив, если условия существования процесса TP_j исчерпаны (разрушены) и в его описании нет подходящей реконфигурации, то оператор должен, исходя из стратегических целей его уровня, выбрать новый процесс TP_k такой, что он не входит в коллизию по структуре (ресурсам) с уже активизированными процессами, и запустить его. В этом случае, как и в традиционной АСУТП, оператор выступает в роли носителя стратегических целей и арбитра, и вся функциональность АСУТП должна быть направлена на обеспечение выполнения этих целей.

Предлагаемая схема естественно вписывается в MMI, и поэтому в принципе событийная модель **EM** может включать как команды на автоматизированные приводы, так и на исполнительные механизмы с «ручным» управлением. В последнем случае команды интерпретируются как «наряд-заказы» оперативному персоналу, а подтверждение через диалог их реализации является дисциплинирующим фактором в исполнении должностных инструкций. Более того, фиксация диалога позволяет вести учет моторесурса неавтоматизированного оборудования.

Применительно к процессам в предлагаемой системе решаются следующие задачи управления:



- составление структуры процесса в рамках имеющегося оборудования (технологической сети TN в терминологии событийной модели);
- анализ текущего состояния привлекаемых компонентов и при необходимости приведение их в состояние, требуемое запуском процесса;
- запуск процесса на выполнение (возможно, подав на вход процесса и всем компонентам необходимые материалы и ресурсы);
- контроль (вычисление) отклонения реального процесса от задания и, попутно, накопление истории параметров, ресурсных трат (отработанных моточасов или человеко-часов, израсходованной электроэнергии и пр.);
- в зависимости от размера и (или) характера отклонения процесса от эталона (нормы) определение характера управления – изменение настройки отдельных компонентов или структуры в целом;
- при необходимости изменения структуры, перебор (просмотр) возможных реконфигураций процесса, выбор и выполнение необходимой; при требовании другого процесса погашения действующего, освобождение всех используемых агрегатов (компонентов) для их подготовки к включению в другой процесс.

Отметить, что все процессы ведут себя одинаково, отрабатывая подобные жизненные циклы (с точностью до количества и имен конкретных механизмов или исполнителей). Поэтому схема управления выстраивает иерархию процессов, где каждый вышеуказанный процесс взаимодействует со своими компонентами (которые, в свою очередь, тоже могут быть процессами) по определенному сценарию (протоколу).

Предложенная архитектура предусматривает реализацию традиционных функций верхнего уровня средствами SCADA-системы (компонента MMI, взаимодействие с СА и т. п.), но вместе с тем предоставляет инструменты для мониторинга, управления и ведения базы данных процессов и событий, с ними связанными; тем самым достигаются цели повышения качества ведения технологических процессов, снижение нагрузки на персонал и обеспечения «прозрачности» АСУТП для корпоративных информационных систем.

Определяющая новация в предлагаемой концепции управления на основе событийных моделей заклю-

чается в моделировании поведения ТОУ как совокупности СМТП. Событийная модель ТП структурирует поведение ТОУ как последовательность выполняемых работ с используемыми в этих работах ресурсами и получаемыми результатами, привязкой к этим работам значений соответствующих параметров продуктов, ресурсов и т. д.

Введение новой сущности – СМТП, как уже отмечалось в § 1, значительно повышает эффективность управления.

Каким образом введение СМТП скажется на загрузке технических средств системы управления?

Введение СМТП в значительной степени расширяет объем БД и предъявляет к SCADA-системе более жесткие требования к открытости и сопрягаемости с новыми приложениями, реализующими механизмы конструирования и ведения СМТП. Предлагаемое расширение верхнего уровня АСУТП позволяет реализовать дополнительно к традиционным следующие задачи управления.

Управление процессами:

- планирование последовательности конфигураций технологических процессов;
- реализация плана (запуск, гашение);
- оперативное управление текущими процессами.

Управление ресурсами:

- учет и контроль выработки ресурса каждой единицей оборудования;
- планирование ремонтов и замены;
- контроль расходуемых материалов.

Управление знаниями:

- учет, хранение и анализ типовых конфигураций ТОУ;
- использование «процедур» с участием персонала;
- анализ эффективности работы персонала по критериям качественного ведения ТП (минимум защит, равномерность загрузки оборудования, щадящий режим и т. д.).

3.2. Система верхнего (блочного) уровня АЭС

Создаваемая в ИПУ система верхнего (блочного) уровня АСУТП АЭС [6] – это система автоматического сбора, хранения и представления информации о текущем состоянии ТОУ и автоматизированного дистанционного формирования команд

управления механизмами и алгоритмами АСУТП. Она создается с целью обеспечения централизации контроля и управления ТП для достижения:

- экономически эффективного производства электроэнергии;
- соблюдения эксплуатационных пределов;
- соблюдения пределов и условий безопасной эксплуатации оборудования;
- ограничения радиационного воздействия, обеспечивающего не превышение установленных пределов на персонал, население и окружающую среду в нормальных и аварийных условиях;
- улучшения характеристик технологических процессов и работы технологического оборудования;
- уменьшения трудоемкости эксплуатации оборудования, улучшения ремонтопригодности технических средств, снижения численности обслуживаемого персонала, улучшения потребительских характеристик элементов АСУТП;
- улучшения условий труда персонала, сокращения его числа и уменьшения последствий от ошибочных действий оператора.

Система верхнего (блочного) уровня представляет собой распределенную вычислительную систему, основными элементами которой являются АРМ, дублированные серверы и локальная вычислительная сеть.

Взаимодействие СВБУ со смежными программно-техническими комплексами АСУТП осуществляется через шлюзы, подключенные к локальной вычислительной сети СВБУ, в которых на программном уровне обеспечивается информационная совместимость с СВБУ.

Особенность взаимодействия элементов СВБУ заключается в применении технологии «клиент-сервер», благодаря которой алгоритм функционирования каждой подсистемы разбивается на совокупность алгоритмов функционирования шлюзов, серверов и рабочих станций, решающих соответствующие им задачи внутри себя и обменивающихся между собой сетевыми сообщениями.

Система рассчитана на обработку не менее 6 тыс. аналоговых и 20 тыс. дискретных сигналов и обладает следующими показателями временной задержки прохождения сигналов: на команду оператора – не более 2 с; на запрос оператора о представлении оперативной технологической информации на экране дисплея – не



более 2 с. Средняя наработка на отказ не менее 10^5 ч.; коэффициент неготовности не более 10^{-5} .

Система является полностью российским изделием, построенным на основе только отечественных комплектующих, аттестованных Минатомом РФ. Техническая документация разработана по российским нормам.

Программное обеспечение СВБУ разработано на основе собственных программных компонентов ИПУ и свободно распространяемых продуктов, которые верифицированы ИПУ и аттестованы для применения в атомной энергетике.

Все технические решения и программное обеспечение обладает полной лицензионной чистотой, что позволяет ИПУ гарантировать поддержку системы в течение всего срока жизни АЭС (тридцать лет).

Система верхнего (блочного) уровня производства ИПУ поставляется на АЭС «Бушер» (Иран) в 2003 г., планируется поставка на АЭС «Кудамкулам» (Индия). Частично программное обеспечение СВБУ поставляется на отечественные АЭС (Ростовскую и Калининскую) и АЭС в Китае.

Применение теоретических и технических решений СВБУ в энергетике и других отраслях может существенно поднять уровень автоматизации задач управления этими объектами.

3.3. Автоматизация процессов энергоснабжения

К технологическим процессам энергоснабжения, подлежащим автоматизации, относятся процессы передачи, преобразования и потребления энергии. Они значительно проще рассмотренных выше, но объекты, в которых они протекают, очень многочисленны, распределены по большой территории, относятся к предприятиям различной ведомственной принадлежности, финансирующимся из местных бюджетов. В силу этих особенностей в данной части энергетической цепочки наблюдаются наибольшие потери энергии. Вот почему важное значение приобретает системный подход к управлению энергоснабжением как к единой системе производства, распределения и потребления энергии отдельного источника до каждого потребителя включительно.

Как сказано во Введении, проблемы при передаче и преобразовании энергии связаны с используемым

оборудованием, системами автоматизации технологических процессов в преобразователях энергии (тепловых пунктах, трансформаторных подстанциях, насосных станциях и т. д.). Эти вопросы решаются АСУТП энергоснабжающих предприятий. В процессе потребления энергии выделим контроль за ее расходом. Только измерив полезный отпуск энергии, можно оценить эффективность систем энергоснабжения. В настоящее время начинается активный процесс установки приборов учета у потребителей и создание автоматизированных систем по сбору и обработке данных.

Ниже на примере работающей системы кратко рассматривается подход ИПУ РАН к управлению энергоснабжением как к единой системе производства, распределения и потребления энергии от отдельного источника до каждого потребителя включительно, а также возможности проектируемой АСКУЭПР, одна из функций которой состоит в обеспечении данными указанной системы управления.

3.3.1. Управление теплоснабжением как единой системой производства, распределения и потребления энергии

По заказу Правительства Москвы Институтом проблем управления разработана и внедряется в промышленную эксплуатацию автоматизированная система контроля балансов в теплоснабжении города. В этой системе городская энергетика представляется в виде совокупности цепочек производства, передачи и потребления тепловой энергии от каждого источника отдельно. В виде электронных схем представлены все маршруты транспорта тепловой энергии от ТЭЦ, РТС и малых котельных до каждого строения города и организована передача данных из теплоснабжающих предприятий об объемах генерации и потребления тепловой энергии. Система содержит промышленную СУБД «Oracle» и использует корпоративную вычислительную сеть Управления топливно-энергетического хозяйства Москвы. База данных и программное обеспечение позволяют рассчитать потребление тепловой энергии в строениях города с учетом фактической температуры наружного воздуха и сравнить эти данные с измеренными приборами учета значениями (на тепловых пунктах и строениях), выполнить анализ обеспеченности строений тепловой энергией, потерю энергии в целом и по объектам (источник, магистраль,

тепловой пункт), эффективности цепочек теплоснабжения, распределения объемов потребляемой энергии по отраслям народного хозяйства и тарифным группам, а также информировать жителей города о причинах отключений и сроках ремонтных работ.

По заказу Правительства Москвы ИПУ приступил к разработке автоматизированной информационной системы сбора и обработки данных о себестоимости процесса теплоснабжения города. Выполнение всего цикла работ позволит получить объективные оценки эффективности процессов теплоснабжения от разных источников энергии, выявить потери энергии и рассчитать необходимые энергосберегающие мероприятия.

3.3.2. Автоматизированная система контроля, учета и управления эффективностью производства и распределения мощности и энергии (тепловой и электрической) региональной энергокомпании – АСКУЭПР «Регион»

Первым шагом технологий в области контроля и учета энергоресурсов является внедрение автоматизированных систем коммерческого учета энергии (АСКУ).

Институт проблем управления РАН вместе с организациями-партнерами ЗАО «Интерэнергоинжиринг» и ИВЦ АО «Мосэнерго» предлагает один из путей решения задачи снижения расхода топлива на производство заданного количества электроэнергии и тепла в реальном масштабе времени – создание АСКУЭПР «Регион».

Первые пилотные проекты, осуществляемые в настоящее время – АСКУЭПР «Мосэнерго» и АСКУЭПР «Москва»; АСКУЭПР Москва реализуется на основании распоряжения Правительства Москвы. Она состоит из подсистем:

- контроля и учета коммерческих показателей электроэнергии, тепла, топлива и воды (АСКУКП);
- оперативного расчета топливной составляющей себестоимости электроэнергии и тепла;
- расчета оптимальных режимов работы оборудования электростанций и энергосистемы в целом.

На наш взгляд, отличительные особенности создаваемой АСКУЭПР Москва состоят в следующем [7].

- Создание единого информационного пространства в пределах энергосистемы, отражающего исто-



рию и текущее состояние фактических и расчетных коммерческих показателей, осуществление контроля за состоянием и изменением баз данных энергоносителей и балансовых составляющих.

- Расчет оптимального режима работы оборудования энергосистемы по экономическим критериям с учетом экологических и химических режимов (расчетные коммерческие показатели).
- Интеграция различных подсистем АСКУКП и АСУТП на базе международных стандартов информационного обмена (OLE-OPC стандарт).
- Обмен информацией с верхними уровнями интегрированной АСУ ТЭС, энергосистемы, в том числе с выходом на Федеральный оптовый рынок электрической энергии (ФОРЭМ).
- Обеспечение повышенных требований к информационной безопасности среды.

Полномасштабная реализация системы позволит:

- осуществлять оперативный контроль и управление выработкой электроэнергии и тепла в энергосистеме по экономическим критериям;
- получать объективную информацию в реальном масштабе времени коммерческим диспетчерам для принятия решений об эффективной загрузке энергосистемы;
- снизить затраты на производство электроэнергии и тепла;
- обеспечить единство коммерческих приборов с поставщиками топлива и воды на основе коммерческих показателей;
- вести учет работы энергосистемы на основе коммерческих показателей в 30-минутном цикле.

В настоящее время ведутся работы по внедрению АСКУЭПР «Москва» на 14-ти московских ТЭС. Выполняются проектные работы, поставка оборудования, монтажные и наладочные работы.

Основные целевые функции, которые должна реализовать рассматриваемая технология:

- автоматизированный контроль показателей технического состояния средств учета энергоресурсов;
- обнаружение и локализация факта и определение причин выхода показателей состояния этих средств за предписанные границы;
- создание и сопровождение моделей балансов материальных и энер-

гетических потоков ТЭС и энергосистемы;

- создание и сопровождение моделей технико-экономических показателей ТЭС и энергосистемы с целью автоматизации расчетов нормативных и фактических ТЭП в реальном масштабе времени;
- решение задач многокритериальной оптимизации распределения электрических и тепловых нагрузок ТЭС и энергосистемы;
- генерация множества возможных решений оператора-диспетчера АСКУЭПР;
- информационная поддержка оператора-диспетчера;
- верификация знаний о моделях на основе автоматизированного эксперимента и баз знаний;
- сквозное моделирование бизнес-процессов производства, распределения и потребления энергоресурсов с целью применения функционально-стоимостного анализа производства и распределения энергоресурсов на всех уровнях АСКУЭПР [8, 9].

Основу моделирующего комплекса АСКУЭПР составляют балансовые модели тепловой и электрической энергий, а также балансовые модели сетевой воды, стоков, различные модели баланса по пару и газу и модели технико-экономических показателей ТЭС.

3.3.3. Разработка и внедрение автоматизированной системы коммерческого учета электроэнергии для работы на Федеральном оптовом рынке электрической энергии и мощности учреждений РАН и Минатома РФ

Институт проблем управления РАН предлагает решение проблемы коммерческого учета электроэнергии для консолидированных потребителей электроэнергии – институтов РАН, расположенных в пределах одного региона. Большинство институтов РАН имеют заявленную электрическую мощность 1...5 МВт и годовое потребление электроэнергии 50...200 тыс. кВт·ч и закупают электроэнергию у региональных АО-энерго. Тарифы на электроэнергию на ФОРЭМ в 1,5...2 раза ниже тарифов региональных АО-энерго. Поскольку к участию на рынке оптовой продажи энергии допускаются только крупные потребители с заявленной мощностью не менее 20 МВт и потреблением электроэнергии не менее 100 млн. кВт·ч, проблему выхода на ФОРЭМ можно решить путем объединения (консо-

лидации) потребителей энергии. Подобное решение планирует для своих учреждений Минатом РФ, поэтому целесообразно создавать общие АСКУЭ ФОРЭМ для консолидированных потребителей энергии РАН и Минатома РФ (пилотные проекты можно было бы реализовать в виде демонстрационной зоны – на базе институтов РАН Москвы и институтов СО РАН).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные новые теоретические результаты по перспективным методам управления поточными технологическими процессами и предложения по созданию инструментальной системы нового поколения, аккумулирующей в себе новые результаты по методам управления, а также опыт ИПУ РАН по внедрению конкретных систем автоматизации процессов разного уровня для предприятий энергетики позволяют утверждать, что внедрение этих результатов даст возможность коренным образом повысить уровень автоматизации технологических процессов и тем самым повысить эффективность энергетического хозяйства страны.

Разумеется, создание новых инструментальных средств и соответствующей методологической и нормативной базы проектных работ потребует существенных инвестиций и организационных решений, но, как нам представляется, эти инвестиции направлены на создание научноемкой продукции, имеют конкретную направленность, окупятся довольно быстро, создаст фронт работ для учреждений РАН.

В качестве общих организационных методов решения указанных проблем ИПУ РАН предлагает воспользоваться опытом США в области создания открытых (бесплатных) систем. Суть его состоит в том, что некоммерческие организации (университеты, исследовательские центры) создают высококачественные методические материалы в форме стандартов, пособий, рекомендаций, а также свободно распространяемого программного обеспечения, которые затем передаются промышленности бесплатно. Не принося прямого дохода, эта деятельность обеспечивает общее преимущество США в области высоких технологий.

В России роль некоммерческих организаций могут взять на себя институты РАН, которые обладают значительным потенциалом и могут соз-

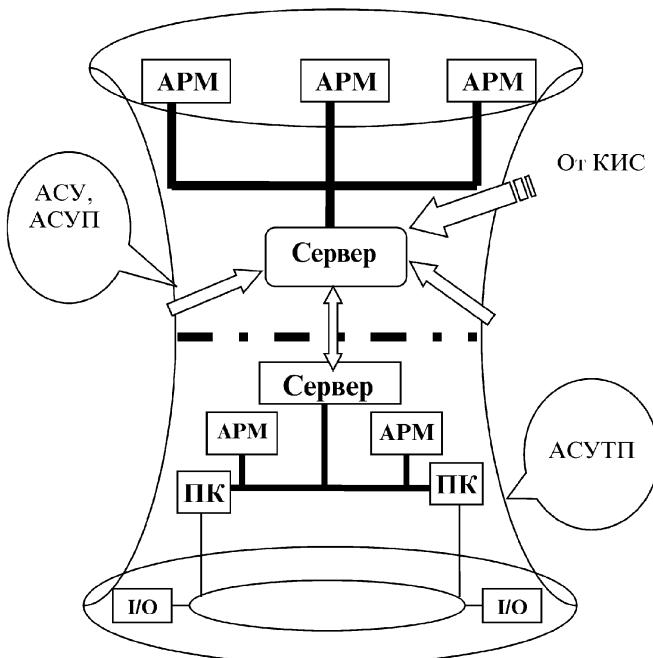


Рис. 6. Обобщенная структура перспективной АСУТП

дать для отечественной промышленности интеллектуальный базис для увеличения уровня автоматизации и, как следствие, повышение ее конкурентоспособности.

Для решения поставленной задачи усилия следует сосредоточить в следующих направлениях.

- Исследование и разработка программных продуктов, аккумулирующих в себе новые результаты по методам управления и нацеленных на применение в системах управления; создание механизма постоянного научного сопровождения этих продуктов.
- Разработка стандартов и адаптация международных стандартов к российским условиям в части унификации и обеспечения открытости для систем низовой автоматики АСУТП.
- Исследования, разработка стандартов, адаптация международных стандартов к российским условиям

и разработка методик в части создания человека-машинного интерфейса, обеспечивающего безопасное и эффективное управление.

- Создание механизма свободного распространения алгоритмов управления и программных продуктов.
- Возвращаясь к геометрической метафоре АСУТП (пирамиде, см. рис. 1), нам представляется удачным представить иерархию компонентов в перспективной системе, построенной с применением управления структурой на основе событийных моделей, в виде гиперболоида (рис. 6).

Как видно, основание гиперболоида символизирует по-прежнему широкие возможности сопряжения с ТОУ; сужение (но не в точку как в пирамиде) разнообразия средств к центру отражает их типизацию и агрегирование информации и управляющих команд. Однако новые модели и задачи значительно расширяют БД системы, и расширение

гиперболоида в верхней части отражает значительное расширение сети АРМ профильных специалистов (контур супервизорного управления, задачи и системы АСУП), а верхняя плоскость представляет интеграцию с корпоративной системой управления информацией КИС.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прангишвили И.В., Амбарцумян А.А. Научные основы построения АСУ ТП сложными энергетическими системами. – М.: Наука, 1992.
2. Прангишвили И.В., Амбарцумян А.А. Основы построения АСУ сложными технологическими процессами. – М.: Энергоатомиздат, 1994.
3. Амбарцумян А.А., Казанский Д.Л. Управление технологическими процессами на основе событийной модели // Автоматика и телемеханика. – 2001. – №№ 10, 11.
4. Амбарцумян А.А. Логическое управление технологическими процессами на основе обратной связи по отклонению // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2001. – № 4.
5. Амбарцумян А.А., Потехин А.И. Разработка механизмов управления объектами с поточной технологией на основе событийных моделей каналов // Автоматика и телемеханика. 2003. № 4.
6. Полетыкин А.Г., Бывайков М.Е., Менгазетдинов Н.Э., Байбулатов А.А. Основные решения по созданию системы верхнего (блочного) уровня АСУТП АЭС // Тр. Ин-та проблем управл. РАН. Т. – М.: ИПУ РАН. 2002. – Т. 18.
7. Александров А.А., Антонов П.А., Бочкин А.Ф., Ядыкин И.Б. Вертикально-интегрированные автоматизированные системы контроля и учета производства и потребления энергии промышленных предприятий // Теплоэнергетика. – 2001. № 10.
8. Методология динамического моделирования INFO/CPN/WFA – М.: МетаТехнология, 1995.
9. Ойхман Е.Г., Попов Э.В. Рейнжиниринг бизнеса. – М: Финансы и статистика, 1997.

☎(095) 334-87-89

E-mail: ambar@ipu.raai.ru

ABSTRACT

Prangishvili I.V., Ambartsumyan A.A., Poletykin A.G., Grebenyuk G.G., Yadykin I.B.

AUTOMATION LEVEL OF POWER OBJECTS: CURRENT STATE ANALYSIS AND IMPROVEMENT OPPORTUNITIES

The paper analyzes the current state of various level automation systems in power engineering and emphasizes negative trends in their evolution in recent years. It describes the experience of the Institute of Control Sciences in applying process automation systems at various levels of power enterprises. New theoretical results concerning the promising process control techniques are presented. Some proposals on creating a new generation instrumental system aimed at dramatical increase of process automation level and thus the improvement of the country's power economy are formulated.

УДК 681.5.015

СЛОЖНЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ И МОДЕЛИ, ОПТИМАЛЬНЫЕ НА КЛАССЕ КРИТЕРИЕВ

И.С. Дургарян, Ф.Ф. Пашенко

Рассмотрены задачи моделирования и идентификации стохастических систем по сложным статистическим критериям. Исследованы условия эквивалентности критериев. Получены условия эквивалентности и оптимальности моделей, построенных по различным критериям идентификации.

ВВЕДЕНИЕ

Существенным моментом в решении задач идентификации и управления является выбор критерия. Заметим, что как в практических, так и в теоретических работах по идентификации выбор критерия определяется обычно не только физическим смыслом задачи, сколько традициями, степенью полноты и характером исходных данных, степенью разработанности соответствующего математического аппарата и относительной сложностью необходимой вычислительной работы.

Замена одного критерия, физически обоснованного, другим, более удобным для решения, часто приводит к результатам, которые считаются приемлемыми. Видимо, этими причинами и объясняется тот факт, что обычно в качестве критериев идентификации выбираются критерии типа минимума среднеквадратической ошибки. Эти критерии, приводя к достаточно простым и отработанным вычислительным схемам, зачастую дают малоочувствительные к изменению критерия качества функционирования объекта оценки параметров математических моделей. Причем эти оценки обладают рядом полезных статистических свойств. Однако критерии типа минимума среднеквадратической ошибки часто не связаны с конечной целью идентификации, т. е. с тем, для чего и как предполагается использовать математическую модель.

В связи с этим в идентификации и управлении возникает необходимость применения более сложных критериев. Например, при решении задач управления качеством управляющее воздействие обычно находится из условия равенства модельного (прогнозируемого) значения выходной переменной некоторому постоянному значению (заданию). Ясно, что, благодаря вероятностным свойствам объекта управления, задание в точности никогда не будет выполнено, и можно говорить лишь о вероятности выполнения задания. Требования к качеству выходного продукта задаются обычно не в виде кон-

кретного значения того или иного показателя качества, а в форме допуска или допусков, соответствующих различным сортам. В этом случае в качестве критерия идентификации естественен критерий максимума вероятности нахождения ошибки $E(t) = Y(t) - Y_M(t)$, где $Y(t)$ и $Y_M(t)$ — выходные процессы объекта и модели, t — время, в некоторых допусках, а критерием для формирования управляющего воздействия (или воздействий) может служить максимум вероятности нахождения выходной переменной в допусках, определяемых требованиями к качеству выходного продукта [1, 2].

Известен хрестоматийный пример: средняя температура больных в больнице, не отражающая истиной картины ни общего состояния больных, ни состояния конкретного больного. В диагностике нас обычно интересует вероятность данного состояния, в задаче поражения цели — вероятность ее поражения и т. п. Вероятностные критерии, на наш взгляд, более реалистичные, более полно отражают реальные условия функционирования объекта, например, при моделировании состояния человека или в диагностических задачах.

Они допускают обобщения, позволяющие охватить широкий круг практически встречающихся задач моделирования [1, 3, 4]. Если выходной продукт подразделяется на несколько сортов, то применение вероятностного критерия для формирования управления позволяет максимизировать вероятность получения продукта требуемого сорта, минимизировать вероятность получения бракованной продукции и т. п. Если каждому сорту поставлена в соответствие некоторая экономическая характеристика (например, отпускная цена), то вероятностному критерию может быть придан экономический смысл.

Многие задачи такого типа встречаются в биологии, экономике и медицине. Аналогичные вопросы возникают при идентификации следящих и измерительных систем, создании систем принятия решений и построении прогнозирующих моделей.



Интересно отметить, что вероятностное обоснование метода наименьших квадратов, данное К. Гауссом, состоит в том, что получаемая оценка значений зависимой переменной является наилучшей в смысле критерия максимума вероятности нахождения ошибки в заданных пределах.

Безусловно, идентификация объектов по сложным статистическим критериям сложнее, однако они глубже отражают конечную цель идентификации. Например, при построении математической модели функционирования человеческого организма в критических ситуациях (прединфарктное состояние и т. п.) более естественно принять в качестве критерия идентификации критерий максимума вероятного нахождения ошибки в заданных пределах.

1. КРИТЕРИИ ИДЕНТИФИКАЦИИ

Рассмотрим следующий критерий идентификации:

$$J = M[\varphi(E)] \rightarrow \text{extr}, \quad (1)$$

где M – знак математического ожидания, $\varphi(E)$ – заданная функция. Из него при $\varphi(E) = E^2$ следует критерий минимума дисперсии ошибки идентификации (при $M(E) = 0$) или критерий минимума квадратической ошибки (если $M(E) \neq 0$). В том случае, когда

$$\varphi(E) = \begin{cases} 0, & E \in [d_1, d_2] \\ 1, & E \notin [d_1, d_2], \end{cases}$$

этот критерий представляет собой вероятность того, что ошибка идентификации находится в заданных допусках: $M[\varphi(E)] = P(d_1 \leq E \leq d_2)$, где d_1 и d_2 – границы допуска.

Критерий (1) обладает достаточно большой общностью, но его применение для решения задач идентификации сопряжено со значительными трудностями, обойти которые позволяют методы теории оптимальных статистических систем, развитые в работах В.С. Пугачева, Н.И. Андреева, И.Е. Казакова, В.В. Соловникова и др.

Задача идентификации по вероятностному критерию является частным случаем более общей задачи идентификации по сложному статистическому критерию вида

$$J = f(J_1, \dots, J_n) \rightarrow \text{extr}, \quad (2)$$

где f – заданная функция некоторых функционалов J_1, \dots, J_n от параметров модели и объекта.

Например, при $J_1 = m_E^2, J_2 = D_E$ (m_E – математическое ожидание, а D_E – дисперсия ошибки) и гауссовских сигналах на входе и выходе системы вероятностный критерий при малом $d = d_1 = d_2$ примет вид: $J = f(J_1, J_2) = 2d\exp\{-J/2J_2\}/\sqrt{2\pi D_E}$, а критерий минимума среднеквадратической ошибки запишется в виде: $J = J_1 + J_2$.

В настоящей статье для решения задач идентификации по критерию (2) существенно используются результаты Н.И. Андреева по линейным статистическим оптимальным системам [1].

В пп. 5 и 6 рассматриваются случаи, когда построенные по разным критериям модели являются равносильными, т. е. оптимальными на классе критериев.

2. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрим стандартную схему идентификации. В качестве критерия близости оценки оператора объекта к его истинному значению примем критерий экстремума квадратического функционала вида:

$$J = m_E + \sum_{i=1}^n \xi_i K_E(\tau_i) \quad (3)$$

где $K_E(\tau_i)$ – значение корреляционной функции ошибки в момент t , ξ_i – некоторые постоянные коэффициенты, удовлетворяющие условию $\sum_{i=1}^n \xi_i^2 \neq 0$. Оптимальную оценку оператора объекта будем искать в классе линейных интегральных стационарных операторов:

$$Y(t) = AX(t) = \int_{-\infty}^t g(\tau)X(t-\tau)d\tau, \quad (4)$$

где $g(\tau)$ – весовая функция оператора A . Предположим, что статистические характеристики входного $X(t)$ и выходного $Y(t)$ процессов объекта известны или вычислены по данным нормальной эксплуатации, а сами случайные процессы $X(t)$ и $Y(t)$ – стационарны и стационарно связаны. Выражая функционал (3) через исходные данные и учитывая физическую реализуемость системы – $g(\tau) = 0$ при $\tau < 0, \tau > T$, получаем:

$$J = m_E \int_0^T g(\tau)d\tau - m_Y + \sum_{i=1}^n \xi_i \left[\int_0^T \int_0^T K_X(\tau_i - \lambda + \tau)g(\tau)d\tau d\lambda - 2 \int_0^T K_{XY}(\tau_i + \tau)g(\tau)d\tau + K_Y(\tau_i) \right], \quad (5)$$

где m_X и m_Y – математические ожидания входного и выходного сигналов, $K_X(\cdot)$ и $K_{XY}(\cdot)$ – авто- и взаимокорреляционная функции случайных процессов $X(t)$ и $Y(t)$. Выражение (5) представляет собой функционал от весовой функции модели типа:

$$J = \int_{t_0}^{t_1} \int_{s_0}^{s_1} \Psi[t, s, g(t), g(s)]dt ds, \quad (6)$$

экстремали которого удовлетворяет уравнению [1]

$$\int_{t_0}^{t_1} \left(\frac{\partial \Psi}{\partial g_t} + \frac{\partial \Psi}{\partial g_s} \right) ds = 0, \quad 0 \leq t \leq T. \quad (7)$$

Решение этого уравнения не всегда принадлежит классу непрерывных функций, в общем случае оно лежит в классе обобщенных функций. Если функционал Ψ представляет собой симметричную билинейную форму относительно функций $g(t)$ и $g(s)$, то интегральное урав-



нение (7), определяющее экстремаль $g_0 = g_0(t)$, принимает вид

$$\int_{t_0}^{t_1} \frac{\partial \Psi}{\partial g_i} ds = 0, \quad 0 \leq t \leq T. \quad (8)$$

При некоторых условиях выражение (8) представляет собой интегральное уравнение Фредгольма первого рода и решение его в общем случае лежит в классе обобщенных функций, содержащих разрывы и δ -функции. Если выражение (8) представляет собой уравнение Фредгольма второго ряда, то оно имеет решение в классе непрерывных функций. Функционалы (3), фигурирующие в критерии идентификации, являются частными случаями функционалов (6).

В нашем случае подынтегральная функция имеет вид:

$$\begin{aligned} \Psi(\tau, \lambda, g(\tau), g(\lambda)) = & \sum_{i=1}^n \xi_i K_X(\tau - \lambda + \tau_i) g(\tau) g(\lambda) - \\ & - \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n \xi_i [K_{XY}(\tau_i + \tau) g(\tau) + K_{XY}(\tau_i + \lambda) g(\lambda)] + \\ & + \frac{m_X}{2T} [g(\tau) + g(\lambda)] \end{aligned}$$

и представляет собой симметричную билинейную форму от функций $g(\tau)$ и $g(\lambda)$. Решение задачи идентификации системы (линейной или нелинейной) в классе моделей (4) по критерию (3) дается следующей теоремой.

Теорема 1. Пусть идентифицируемый объект — линейный, стационарный и физически реализуемый ($g(\tau) \neq 0, \tau \in [0, T], g(\tau) = 0, \tau < 0, \tau > T$), случайные процессы на входе $X(t)$ и выходе $Y(t)$ объекта стационарны и стационарно связаны. Пусть выполняются условия:

$\sum_{i=1}^n \xi_i^2 \neq 0; \sum_{i=1}^n |K_E(\tau_i)| \neq 0$; весовая функция $g(\tau)$ интегрируема на отрезке $[0, T]$. Тогда: существует модель объекта в классе линейных стационарных физически реализуемых операторов типа (4), оптимальная по критерию экстремума функционала (3); оценка $g_0(\lambda)$ весовой функции модели объекта удовлетворяет линейному интегральному уравнению

$$\begin{aligned} & \int_0^T \sum_{i=1}^n \xi_i K_X(\tau_i - \lambda + \tau) g(\tau) d\tau d\lambda - \\ & - \sum_{i=1}^n \xi_i K_{XY}(\tau_i + \tau) + \frac{m_X}{2} = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Доказательство теоремы следует из решения уравнения (8) при условии, что функционал Ψ определяется выражением (5).

Уравнение идентификации (9) представляет собой линейное интегральное уравнение Фредгольма первого рода. Его решение можно найти известными методами [3].

3. ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ОБЪЕКТОВ

Методы идентификации по сложным статистическим критериям, рассмотренные в п. 2, применимы для

построения оптимальных оценок операторов линейных и нелинейных объектов в классе линейных операторов, в классе линейных в среднем операторов и операторов Гаммерштейна. Однако для нелинейных стохастических объектов корреляционные функции не являются исчерпывающими характеристиками связи между входными и выходными сигналами. В общем случае изложенный выше корреляционный метод идентификации будет давать заниженную оценку статистической связи входных и выходных сигналов, а, следовательно, приводить к ошибкам решения задачи идентификации.

Рассмотрим состоятельный метод идентификации по сложным статистическим критериям, основанный на идеях метода функциональных преобразований [5]. Для простоты рассмотрим случай стационарного объекта, хотя все изложенное очевидным образом распространяется и на нестационарный случай. В качестве критерия близости модели и оператора объекта примем экстремум билинейного функционала вида:

$$J = m_E + \sum_{i=1}^n \xi_i R_E^\phi(\tau_i), \quad (10)$$

где $R_E^\phi(\tau_i)$ — значение функциональной корреляционной функции ошибки идентификации в момент τ_i [5], ξ_i — некоторые постоянные коэффициенты, удовлетворяющие условию $\sum_{i=1}^n \xi_i^2 \neq 0$. Весовые коэффициенты ξ_i

учитывают вклад значений функции $R_E^\phi(\tau_i)$ в различные моменты времени τ_i или интервалы времени, если $\tau_i = i\Delta$, где Δ — интервал времени, а $i = 1, 2, \dots, n$. Задавая различные значения коэффициентов ξ_i , получаем семейство функционалов вида (10), которые можно использовать для приближенной оценки качества идентификации. Критерии, использующие функционалы типа (10), эффективны не только при идентификации по вероятностным критериям, но и в том случае, когда надо построить модель, наилучшим образом приближающую идентифицируемый объект на заданном отрезке времени, или режиме функционирования, или в данный момент времени, при решении задачи терминального управления. Аналогичные задачи возникают не только при идентификации с целью диагностики критических режимов, но и при идентификации сложных объектов, имеющих несколько, в том числе и стационарных, режимов функционирования, например, ядерный реактор, доменная печь или социально-экономическая система.

Оптимальную модель нелинейного объекта будем искать в классе стационарных полулинейных систем $\pi(N_1 - L - N_2)$ [5]:

$$B[Y(t)] = \int_{-\infty}^t g(\tau) C[X(t - \tau)] d\tau. \quad (11)$$

В соответствии с методом функциональных преобразований, опираясь на результаты работы [5], сначала найдем преобразования B и C случайных процессов на выходе и входе объекта, определяющие нелинейные звенья модели. Далее, воспользовавшись изложенной методи-



кой, найдем оптимальную весовую функцию линейной части модели.

Пусть случайные процессы $X(t)$ и $Y(t)$ – ф-стационарны и ф-стационарно связаны [5]. Тогда, с учетом физической реализуемости линейного звена, функциональная (обобщенная) автокорреляционная функция ошибки идентификации имеет вид

$$\begin{aligned} R_E^\phi(\tau_i) &= \int_0^T \int_0^T R_X^\phi(\tau_i - \lambda + \tau) g(\tau) g(\lambda) d\tau d\lambda - \\ &- 2 \int_0^T R_{XY}^\phi(\tau_i + \tau) g(\tau) d\tau + R_Y^\phi(\tau_i). \end{aligned}$$

Функционал (10) в этом случае можно представить в виде

$$\begin{aligned} J = m_E + \sum_{i=1}^n \xi_i \left[\int_0^T \int_0^T R_X^\phi(\tau_i - \lambda + \tau) g(\tau) g(\lambda) d\tau d\lambda - \right. \\ \left. - 2 \int_0^T R_{XY}^\phi(\tau_i + \tau) g(\tau) d\tau + R_Y^\phi(\tau_i) \right], \quad (12) \end{aligned}$$

где m_E – математическое ожидание ошибки идентификации, $R_X^\phi(\cdot)$, $R_Y^\phi(\cdot)$ и $R_{XY}^\phi(\cdot)$ – соответственно обобщенные авто- и взаимная корреляционные функции случайных процессов $X(t)$ и $Y(t)$ [5].

Выражение (12) представляет собой функционал от весовой функции модели типа (6). Учитывая, что математическое ожидание обобщенной ошибки идентификации при сделанных выше предположениях можно записать в виде

$$m_E = m_{CX} \int_0^T g(\tau) d\tau - m_{BY},$$

получим следующее выражение для подынтегральной функции функционала (6):

$$\begin{aligned} \Psi(\tau, \lambda, g(\tau), g(\lambda)) &= \sum_{i=1}^n \xi_i R_X^\phi(\tau_i - \lambda + \tau) g(\tau) g(\lambda) - \\ &- \frac{1}{T} \sum_{i=1}^n \xi_i [R_{XY}^\phi(\tau_i + \tau) g(\tau) + R_{XY}^\phi(\tau_i + \lambda) g(\lambda)] + \\ &+ \frac{m_{CX}}{2T} [g(\tau) + g(\lambda)], \end{aligned}$$

где $m_{CX} = M\{C(X(t))\}$; $m_{BY} = M\{B(Y(t))\}$.

Функция Ψ представляет собой симметричную билинейную форму от функций $g(\tau)$ и $g(\lambda)$. Решение задачи идентификации нелинейного объекта в этом случае определяется следующей теоремой.

Теорема 2. Пусть идентифицируемый объект представляет собой нелинейный динамический объект. Случайные процессы на входе $X(t)$ и выходе $Y(t)$ объекта ф-стационарны и ф-стационарно связаны. Модель объекта ищется на множестве полулинейных систем вида

(11). Пусть выполняются условия: $\sum_{i=1}^n \xi_i^2 \neq 0$; существуют преобразования B и C такие, что автокорреляцион-

ная функция $R_E^\phi(\tau)$ не равна тождественно нулю на отрезке $[0, T]$; весовая функция линейной части модели (11) удовлетворяет условиям физической реализуемости и интегрируема на отрезке $[0, T]$.

Тогда: существует модель объекта в классе полулинейных систем вида (11), оптимальная по критерию экстремума функционала (10); оценка оптимальной весовой функции $g_0(\tau)$ линейной части модели (11) удовлетворяет линейному интегральному уравнению идентификации

$$\begin{aligned} \int_0^T \sum_{i=1}^n \xi_i R_X^\phi(\tau_i - \lambda + \tau) g(\lambda) d\lambda - \\ - \sum_{i=1}^n \xi_i R_{XY}^\phi(\tau_i + \tau) + \frac{m_{CX}}{2} = 0. \quad (13) \end{aligned}$$

Уравнение (13) представляет собой интегральное уравнение Фредгольма первого рода, решение которого в общем случае лежит в классе обобщенных функций, содержащих не только непрерывные, но и разрывные функции и δ -функции.

Замечание. Выполнение равенства (13) является необходимым и достаточным условием экстремума функционала (10). Однако это условие может соответствовать как минимуму, так и максимуму функционала (10). На существование минимума или максимума критерия влияют конкретные выбранные значения параметров ξ_i .

Если существует максимальная взаимная корреляционная функция случайных процессов $X(t)$ и $Y(t)$, то справедлива следующая

Теорема 3. Пусть выполняются условия теоремы 2. Пусть существует и не равна тождественно нулю на отрезке $[0, T]$ максимальная взаимная корреляционная функция $R_{XY}^{\max}(\tau)$. Тогда: существует модель объекта в классе полулинейных систем вида (11), оптимальная по критерию экстремума функционала

$$J = m_E + \sum_{i=1}^n \xi_i R_{XY}^{\max\phi}(\tau_i),$$

где обозначение $R_{XY}^{\max\phi}(\tau_i)$ указывает на то, что ошибка идентификации $E(t)$ определяется при условии, что преобразования $B(Y(t))$ и $C(X(t))$ удовлетворяют теореме 7.2.3 (см. работу [5]); оценка оптимальной весовой функции $g_0(\tau)$ линейной части модели (11) удовлетворяет линейному интегральному уравнению идентификации

$$\begin{aligned} \int_0^T \sum_{i=1}^n \xi_i R_X^\phi(\tau_i - \lambda + \tau) g(\lambda) d\lambda - \\ - \sum_{i=1}^n \xi_i R_{XY}^{\max}(\tau_i + \tau) + \frac{m_{CX}}{2} = 0. \quad (14) \end{aligned}$$

Доказательство теорем 2 и 3 осуществляется в два этапа. На первом этапе, учитывая результаты работ [6–8] находят преобразования B и C случайных процессов на выходе $Y(t)$ и входе $X(s)$ объекта, определяющие обобщенные авто- и взаимные корреляционные функции и максимальную взаимную корреляционную функцию



случайных процессов $X(s)$ и $Y(t)$. На втором этапе по теореме 1 находят оптимальную весовую функцию линейной части модели.

Как важные частные случаи из теорем 2–3 следуют дисперсионные методы идентификации и синтеза оптимальных стохастических систем по сложным статистическим критериям, рассмотренным в работах [2, 9]. Заметим, что при идентификации нелинейных объектов, описываемых монотонными зависимостями, уравнения дисперсионной идентификации совпадают с уравнениями (13) и (14). Легко показать, что теорема 1 также является частным случаем теорем 2 и 3.

4. ИДЕНТИФИКАЦИЯ СИСТЕМ ПО ВЕКТОРНОМУ КРИТЕРИЮ

Постановка задачи идентификации, особенно в случае сложных иерархических систем, часто приводит к векторному критерию построения оптимальной модели:

$$J = (J_1, \dots, J_n), \quad (15)$$

т. е. к задаче многокритериальной оптимизации. При этом для определения области решений, например, оптимальных по Парето, необходимо перейти от задачи векторной оптимизации к задаче нелинейной оптимизации со специально сконструированной скалярной функцией цели:

$$J = f(J_1, \dots, J_n). \quad (16)$$

Существуют различные способы образования такой функции, наиболее распространенный среди них метод взвешенных сумм:

$$J = \sum_{i=1}^n k_i J_i, \text{ где } k_i \geq 0 \text{ и } \sum_{i=1}^n k_i = 1.$$

Вопросы построения обобщенных критериев оптимальности рассмотрены в работах В.С. Пугачева, Н.И. Андреева, И.Е. Казакова и др.

Функционалы (15) и (16) охватывают довольно широкий класс критериев. Как частные случаи, они включают в себя критерии вероятности выхода ошибки из заданных допусков, минимума средней квадратической ошибки и т. п. Кроме того, некоторые из критериев J_i могут иметь смысл производительности, себестоимости, экономической эффективности. Идентификация объектов по критерию экстремума функционала (16) представляет собой трудную задачу, которую можно значительно упростить, воспользовавшись следующей модификацией результатов Н.И. Андреева по теории статистически оптимальных систем.

Теорема 4. Пусть в функционале (16) J_1, J_2, \dots, J_n – действительные выпуклые функционалы, определенные в банаховом пространстве. Пусть функционалы J_1, \dots, J_n – сильно дифференцируемы в области G , т. е. существует дифференциал Фреше – $dJ(g)$, $g \in G$. Пусть функция $f(\cdot)$ – выпуклая, монотонная и дифференцируемая в области G . Тогда для того, чтобы функционал J достигал экстремума на функции g_0 , необходимо, чтобы $dJ(g_0, h) = J'(g_0)h = 0$ при всех $h \in G$; функция g_0 , на которой функционал J принимает экстремальное значение, при-

належит множеству решений задачи поиска экстремума приведенного функционала

$$J(g) = \sum_{i=1}^{n-1} k_i J_i(g) + J_n(g), \quad k_i \geq 0, \quad i = 1, \dots, n-1. \quad (17)$$

Другими словами, для того чтобы функция $g(t)$, принадлежащая классу допустимых функций, соответствовала экстремуму функционала (16), необходимо, чтобы она соответствовала экстремуму приведенного функционала (17) при некоторых значениях согласующих параметров k_1, \dots, k_{n-1} . Примерами выпуклых функционалов являются квадратические функционалы (3) и (10). Для выпуклых функционалов необходимое условие экстремума является и достаточным.

Функция $g_0(t, k_1, \dots, k_{n-1})$, соответствующая экстремуму функционала (16), зависит от $n-1$ согласующих параметров k_i . Подставляя найденное значение $g_0(t, k_1, \dots, k_{n-1})$ в выражение (16), получим некоторую функцию параметров k_1, \dots, k_{n-1} :

$$\begin{aligned} J &= f[J_1(g(t, k_1, \dots, k_{n-1})), \dots, J_n(t, k_1, \dots, k_{n-1})]] \\ &= F(k_1, \dots, k_{n-1}). \end{aligned}$$

Определяя экстремум функционала J как функцию от k_1, \dots, k_{n-1} , найдем соответствующие ему значения $k_1 = k_{1,0}, \dots, k_{n-1,0}$. Тогда искомая оценка весовой функции объекта $g_0(t) = g(t, k_{1,0}, \dots, k_{n-1,0})$. Способы определения значений согласующих параметров $k_1 = k_{1,0}, \dots, k_{n-1} = k_{n-1,0}$, соответствующих экстремуму функционала (16), приведены в работах Н.И. Андреева по теории статистически оптимальных систем [1].

Если функция $F(k_1, \dots, k_{n-1})$ имеет несколько максимумов или минимумов, то в качестве $\sup J$ или $\inf J$ следует брать, соответственно, наибольший из максимумов или наименьший из минимумов и соответствующие этим значениям оптимальные значения согласующих параметров. При этом необходимо, чтобы полученная в результате весовая функция модели принадлежала классу допустимых функций.

Отыскание экстремума функционала (17) по трудности равносильно отысканию экстремума функционала

$\sum_{i=1}^n J_i$. Если, например, функционалы J_1, \dots, J_n – квадратичные, то и функционал (17) тоже квадратический, и, следовательно, независимо от вида функции f , поиск экстремума функционала (17) сводится к задаче определения экстремума квадратического функционала, для решения которой имеется хорошо развитый аппарат. Таким образом, задача отыскания экстремума функционала (16) сводится к решению более простых задач: определению функции $g(t, k_1, \dots, k_{n-1})$ и отысканию согласующих параметров $k_{1,0}, \dots, k_{n-1,0}$.

В качестве функционалов J_1, \dots, J_n в выражении (16) могут использоваться функционалы типа (3) и (10), что приводит к критериям, имеющим смысл вероятности того, что ошибка идентификации находится в заданных допусках:

- в некоторый момент времени;
- в течение некоторого отрезка времени;
- к более сложным обобщениям этих критериев.



5. О МОДЕЛЯХ, ОПТИМАЛЬНЫХ ПО РАЗЛИЧНЫМ КРИТЕРИЯМ

Задача идентификации систем и построения моделей, оптимальных по вероятности выхода ошибки идентификации за пределы заданного интервала или по сложным статистическим критериям, рассмотренная в пп. 1–4, связана с серьезными математическими затруднениями, громоздкими и большими вычислительными затратами, в отличие от идентификации по среднеквадратическому критерию. Понятно, что критерий идентификации должен отражать цель создания модели, например, критерий последующей оптимизации системы или критерий управления идентифицируемым объектом. Однако, применение сложных статистических критериев не гарантирует, что в результате будет получен более существенный эффект, нежели при классическом среднеквадратическом критерии.

В работах В.С. Пугачева, Н.И. Андреева, О.М. Козлова, П. Эйхоффа [1, 3, 10] и других исследователей показано, что для гауссовых процессов синтез оптимальных систем и идентификация объектов по различным критериям часто приводит соответственно к одному и тому же результату.

В связи с этим представляет интерес отыскание свойств систем, по которым можно было бы определить, будут совпадать или отличаться результаты идентификации по различным критериям.

Рассмотрим различные критерии близости выходных сигналов системы $Y(t)$ и модели $Y_M(t)$ вида:

$$\begin{aligned} J(\varphi) &= J(\varphi(Y(t), AX(s)) = \\ &= M[\varphi(Y_M(t) - Y(t))] \rightarrow \min_{Y_M}, \end{aligned} \quad (18)$$

или

$$J(\varphi) = M[\varphi(|Y_M(t) - Y(t)|)] \rightarrow \min_{Y_M}, \quad (19)$$

где φ — произвольная неотрицательная неубывающая функция, $\varphi(\cdot) \neq \text{const}$, Y_M — выходной сигнал модели $Y_M(t) = A[X(s), s \in T_t]$, где A — оператор модели, T_t — интервал времени.

Критерии вида (18) и (19) охватывают критерии минимума среднеквадратической ошибки $\varphi(\cdot) = E^2$, среднего значения модуля ошибки, среднее значение взвешенной суммы ошибки $\sum a_k |E|^k$, вероятности выхода ошибки идентификации из заданной области радиуса δ при

$$\varphi(E) = \begin{cases} 0, & 0 \leq E < \delta \\ 1, & E \geq \delta \end{cases} \quad (20)$$

и другие.

Поскольку при решении задач идентификации применяются методы, учитывающие знания о системе и действующих на нее сигналов, и дисперсионные методы идентификации [5], рассмотрим также функционалы вида

$$J(\varphi(\cdot)/X(s)) = M[\varphi(|Y_M(t) - Y(t)|)/X(s), s \in T_t] \quad (21)$$

и

$$\begin{aligned} J(\varphi(\cdot)/K(F, X(s), Y(t))) &= \\ &= M[\varphi(\cdot)/K(F(\cdot), X(s), Y(t))], \end{aligned} \quad (22)$$

где, как и ранее, $M[\cdot/\cdot]$ означает условное математическое ожидание функционала $\varphi(\cdot)$ относительно реализации случайного сигнала $x(s)$ или знаний $K(\cdot)$ о системе $F(\cdot)$, входном $X(s)$ и выходном сигнале $Y(t)$ системы.

Пусть Φ — класс моделей (например, линейных, нелинейных, полулинейных), в котором ищется идентифицируемая модель системы. Требуется найти модель системы из класса Φ , оптимальную в смысле критериев (18) и (19) или (21) и (22).

6. СУЩЕСТВОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ МОДЕЛЕЙ

Определение оптимальной модели по данному критерию или по набору критериев на заданных классах моделей, входных и выходных сигналов является одним из основных этапов решения задачи идентификации в широком смысле. Однако прежде чем приступить к построению оптимальной модели, необходимо ответить на вопрос: существует ли оптимальная модель идентифицируемой системы? В данной работе будем искать оптимальные модели в смысле следующих определений.

Определение 1. Модель A^0 называется оптимальной «в среднем» в классе Φ , если $A^0 \in \Phi$ и для любых $A \in \Phi$, $X(s)$ и любого критерия (18) или (19) выполняется неравенство $J(\varphi, A^0) \leq J(\varphi, A)$.

Определение 2. Модель A^0 называется оптимальной «в целом» в классе Φ , если $A^0 \in \Phi$ и для любых $A \in \Phi$, $X(s)$ и любого критерия (21) или (22) выполняются неравенства $J(\varphi, A^0/X(s)) \leq J(\varphi, A/X(s))$ и $J(\varphi, A^0/K(\cdot)) \leq J(\varphi, A/K(\cdot))$.

Из этих определений следует, что модель, оптимальная «в целом», дает наилучшую аппроксимацию выходного сигнала системы не только «в среднем» по всем возможным реализациям $X(s)$, но и для каждой конкретной реализации $x(s)$ или набора знаний $K(\cdot)$ в отдельности. Конечно, возникает вопрос: существуют ли такие модели? Ответ дают следующие теоремы.

Теорема 5. Пусть условное распределение процесса $Y(t)$ относительно процесса $X(s)$

$$F_{y/x}(u) = P(Y(t) \leq u/X(s), s \in T_t) \quad (23)$$

унимодально и симметрично. Тогда существует оптимальная модель «в целом», ее выходная реакция $Y_M(t) = M(Y(t)/X(s), s \in T_t)$.

Справедливо и обратное утверждение.

Теорема 6. Пусть существует оптимальная «в целом» модель. Тогда соответствующие условные распределения (23) унимодальны и симметричны.

Доказательства теорем 5 и 6 следуют из работ [3, 4].

При доказательстве теорем существенен учет свойств унимодальности и симметричности (функция распределения $F(u)$ называется унимодальной, если существует такое число u_0 , что $F(u)$ выпукла при $u < u_0$ и вогнута при $u > u_0$; функция распределения называется симметричной, если $F(u_0 - u) = 1 - F(u_0 + u)$).



Как известно, унимодальные функции распределения непрерывны и обладают производными слева и справа в каждой точке, за исключением, быть может, одной точки вершины, где возможен разрыв.

Примером систем, соответствующих теоремам 5 и 6 являются системы, случайные процессы на входе $X(s)$ и выходе $Y(t)$ которых представляют собой гауссовские процессы $N_1(m_x, \Sigma_1)$ и $N_2(m_y, \Sigma_2)$.

Следствие 1. Если условная функция распределения $F_{y/x}(u)$ имеет более одной точки разрыва, то $F_{y/x}(u)$ не унимодальна и оптимальной «в целом» модели не существует.

Следствие 2. Если условная функция распределения $F_{y/x}(u)$ несимметрична, то оптимальной «в целом» модели не существует.

В случае выполнения условий следствий 1 и 2 оптимальная модель по среднеквадратической ошибке не совпадает с моделью, полученной по критерию минимума выхода ошибки идентификации из заданной области (интервала). В частности, рассмотренный в работе [2] пример нелинейного квадратического преобразователя $Y(t) = X^2(t)$ является примером нарушения условия симметричности условной функции распределения $F_{y/x}(u)$. Следовательно, для идентификации по сложным статистическим критериям в этом случае следует применять методы идентификации, рассмотренные в работах [2, 9].

Таким образом, существование оптимальной модели, вообще говоря, не дает оснований заменять при идентификации одни критерии другими. Условия, при которых такая замена возможна, определяются следующими теоремами.

Теорема 7. Пусть выполнены условия теоремы 5 и условие а) плотность $p_{y/x}(u)$ условного распределения случайного процесса $Y(t)$ относительно наблюдаемых значений $X(s)$ при $u > u_0 = M[Y(t)/X(s), s \in T_t]$ строго убывающая функция или условие б) функция $\phi_0(E)$ строго возрастающая. Тогда существует и единственна оптимальная «в целом» модель идентифицируемой системы, определяемая уравнением

$$J(\phi_0, A^0/X(s)) = \min_A J(\phi_0, A/X(s)).$$

Доказательство. Пусть выполняются условия теоремы 5 и условие а) и существуют оптимальные модели

$$A^0(X(\tau)) = M\{Y(t)/X(\tau), \tau \in T_t\} = a_0,$$

$$B^0(x(\tau)) = b_0 \neq a_0.$$

Пусть $p_{y/x}(u) = F'_{y/x}(u + a_0)$ – условная плотность распределения.

В силу условий (23) и а) теоремы

$$p(u) = p(-u), \quad p(u_2) > p(u_1) \text{ при } u_2 > u_1 > 0 \quad (24)$$

Тогда имеем:

$$J(\phi_0, A^0/X(\tau)) = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_0(y - a_0)p(y - a_0)dy = \int_{-\infty}^{\infty} \phi_0(u)p(u)du,$$

$$\begin{aligned} J(\phi_0, B^0/X(\tau)) &= \int_{-\infty}^{\infty} \phi_0(y - b_0)p(y - a_0)dy = \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \phi_0(u + 2c)p(u)du, \end{aligned}$$

где $c = (a_0 - b_0)/2$. Отсюда

$$\begin{aligned} J(\phi_0, A^0/X(\tau)) - J(\phi_0, B^0/X(\tau)) &= \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} [p(u - c) - p(u + c)][\phi_0(u + c) - \phi_0(u - c)]du = 0. \end{aligned}$$

Поскольку последний интеграл равен нулю, то подынтегральное выражение (в силу своей неотрицательности) равно нулю

$$[p(u - c) - p(u + c)][\phi_0(u + c) - \phi_0(u - c)] = 0$$

почти при всех u . В силу условий (24) первый сомножитель строго больше нуля, следовательно

$$\phi_0(u + c) = \phi_0(u - c) – \text{почти всюду.}$$

Последнее невозможно, так как функция $\phi_0(u)$ отлична от нуля и монотонна (см. формулы (18) и (19)). Следовательно, оптимальная модель A^0 единственна. Аналогично доказывается единственность оптимальной модели при условиях (23) и б).

Теорема 8. Пусть выполняются условия теоремы 7. Пусть существует модель B^0 , оптимальная «в среднем» по критерию (19):

$$J(\phi_0, B^0) = J(\phi_0, A^0) = \min_A J(\phi, A). \quad (25)$$

Тогда выходные сигналы моделей A^0 и B^0 тождественны почти всюду для всех реализаций входного сигнала $X(s)$; модель B^0 оптимальна по всем критериям $J(\phi, A)$ (19).

Доказательство. Первое утверждение теоремы следует из теорем 5 и 7. Действительно, в силу теоремы 5 оптимальная модель существует, а в силу теоремы 7 она единственна.

Докажем второе утверждение. Из теоремы 7 следует

$$J(\phi_0, B^0/X(\tau)) \geq J(\phi_0, A^0/X(\tau)). \quad (26)$$

В силу условия (25)

$$J(\phi_0, B^0) = J(\phi_0, A^0). \quad (27)$$

Выражения (26) и (27) не противоречат друг другу только в случае, когда с вероятностью 1 выражение (26) превращается в равенство. Отсюда в силу единственности оптимальной модели $B^0(\cdot) = A^0(\cdot)$ с вероятностью 1.



Поскольку значения условного критерия $J(\phi, A/x)$ на множестве реализаций $X(\tau)$ вероятностной меры нуль не влияют на значение критерия $J(\phi, A)$, то

$$J(\phi_0, B^0) = J(\phi_0, A^0) = \min_A J(\phi, A)$$

что и требовалось доказать.

Из теорем 5–8 следует, что если условные распределения унимодальны и симметричны, то модель, оптимальная по минимуму среднеквадратического отклонения ошибки идентификации, оптимальна по всем критериям с функционалом типа (18), в том числе и по критерию минимума вероятности выхода ошибки идентификации из заданного диапазона: $P\{|Y_M(t) - Y(t)| > \delta\}$ при любом δ .

Полученная при этом модель A^0 отличается от оптимальной «в целом» модели лишь на множестве входных сигналов меры нуль.

Если модель A^0 обеспечивает минимум среднеквадратического отклонения для каждой реализации входного сигнала $X(s)$, т. е. выполняется условие (20), то модель A^0 оптимальна «в целом».

Отметим, что условие а) теоремы 7 выполняется для гауссовского процесса, а условие б) – для степенной функции, т. е. для среднеквадратического, среднекубического отклонений и т. п. Поэтому все вышесказанное справедливо для моделей оптимальных по среднему значению любой степени n отклонения: $|Y_M(t) - Y(t)|^n$.

Необходимыми условиями существования модели, оптимальной «в среднем» по всем критериям типа (19), являются унимодальность и симметричность распределения следующей случайной величины: $\xi(t) = Y(t) - M\{Y(t)/X(s), s \in T_t\}$. Наличие этого свойства способствует высокой эффективности дисперсионных моделей и методов идентификации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Один из основных этапов решения задачи идентификации в широком смысле заключается в определении оптимальной модели системы на заданных классах моделей, входных и выходных сигналов. Рассмотрены вопросы выбора и обоснования критериев при моделировании систем. Предложены методы идентификации по сложным вероятностным критериям. Показано, что задача идентификации по векторным критериям в ряде случаев сводится к задаче идентификации по приведенным билинейным критериям, впервые рассмотренным Н.И. Андреевым [1].

Даны определения моделей, оптимальных «в среднем» и «в целом» на выбранном классе моделей. Получены условия существования моделей, оптимальных по разным критериям идентификации. Показано, что если существует оптимальная «в целом» модель, то условные распределения выходного сигнала системы относительно входного сигнала должны быть унимодальны и симметричны. Рассмотрен частный случай, когда входной и выходной сигналы системы являются гауссовскими. Если указанные выше условия не выполняются, идентификацию систем следует проводить методами, изложенными в пп. 2–4 и в работах [2, 9].

Изложенный подход к исследованию и применению сложных статистических критериев для решения задач идентификации может быть полезен и для решения задач синтеза оптимальных стохастических систем, прогнозирования, экстраполяции и фильтрации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев Н.И. Корреляционная теория статистически оптимальных систем. – М.: Наука, 1966. – 386 с.
2. Дургарян И.С., Пащенко Ф.Ф. Идентификация нелинейных объектов по сложным критериям // Автоматика и телемеханика. – 1980. – № 7. – С. 61–71.
3. Пугачев В.С. Теория случайных функций. – М.: Физматгиз, 1962.
4. Бернацкий Ф.И., Пащенко Ф.Ф., Коновалова Т.Р. Идентификация и управление технологическими объектами по сложным критериям. – Владивосток: ИАПУ ДВНЦ АН СССР, 1983. – С. 34.
5. Прангшивили И.В., Пащенко Ф.Ф., Бусыгин Б.П. Системные законы и закономерности в электродинамике, природе и обществе. – М.: Наука, 2001. 526 с.
6. Сарманов О.В. Собственные корреляционные функции и их применение в теории стационарных марковских процессов // Докл. АН СССР. 1960. – Т. 132, № 4. – С. 769–772.
7. Пащенко Ф.Ф., Чернышев К.Р. Применение метода функциональных преобразований в идентификации нелинейных систем // Автоматика и телемеханика. – 1992. – № 4. – С. 77–85.
8. Breiman L., Friedman J.H. Estimating Optimal Transformations for Multiple Regression and Correlation // J. of the American Statistical Association. – 1985. Vol. 80, № 391. – P. 580–598.
9. Дургарян И.С., Пащенко Ф.Ф. Дисперсионный критерий статистической оптимизации систем // Автоматика и телемеханика. – 1974. – № 12. С. 46–52.
10. Эйхофф П. Основы идентификации систем управления. – М.: Мир, 1975.

☎ (095) 334-90-20

E-mail: feodor@ipu.rssi.ru



РЕДАКЦИЯ ЖУРНАЛА «ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ»:

117997, ГСП-7, Москва, Профсоюзная ул., 65, оф.104,
тел./факсы: (095) 330-42-66, 334-92-00,
www.ipu.rssi.ru; e-mail: datchik@ipu.rssi.ru

Подписку на журнал «Проблемы управления» можно оформить с любого месяца в любом почтовом отделении (подписьной индекс 81708 в каталоге "Роспечать"), а также через редакцию. Отдельные номера редакция высыпает по первому же требованию. Стоимость одного номера – 440 руб.



УДК 62-505.5

ПРИМЕНЕНИЕ ЯЗЫКА СЕТЕЙ ПЕТРИ В СИСТЕМАХ СЕТЕВОГО ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПРИ ДЕФИЦИТЕ РЕСУРСОВ

М.Ю. Копнин, В.В. Кульба, Е.А. Микрин

Рассмотрены вопросы распределения ресурсов на комплексе операций. Для моделирования комплекса операций применен язык сетей Петри с задержками в позициях. На основании построенных моделей введены понятия резерва и дефицита ресурсов. Исследованы способы управления комплексом операций в условиях дефицита ресурсов.

ВВЕДЕНИЕ

В теории сетевого планирования и управления математической моделью комплекса операций служит сетевая модель, т. е. ориентированный граф, дугам-операциям которого приписаны веса t_{ij} (продолжительности операций), а вершинам-событиям – веса t_i (сроки наступления событий). Исследованы различные типы сетевых моделей, связанные с вероятностным или детерминированным характером временных оценок и структуры комплекса операций и с видами логических операций, реализуемых событиями. Детально исследованы свойства характеристик сетей, событий и операций, рассмотрены соотношения между резервами времени событий и операций, получены условия существования резервов различных типов, предложены процедуры планирования и управления комплексами операций [1]. Однако при использовании в качестве математической модели комплекса операций сетевых моделей достаточно сложно исследовать причинно-следственные связи между событиями, параллельные процессы и конфликтные ситуации.

В данной работе в качестве математической модели комплекса операций предлагается использовать сети Петри [2, 3], которые обеспечивают не только сочетание мощного математического аппарата и наглядность представления, но и возможность моделирования параллельных процессов и конфликтных ситуаций. Кроме того, исследуются процессы планирования и управления комплексами операций при дефиците ресурсов (отрицательных резервов), характерном при управлении силами и средствами во время ликвидации причин и последствий чрезвычайных ситуаций невоенного характера.

ПРИМЕНЕНИЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ КОМПЛЕКСОВ ОПЕРАЦИЙ

В качестве математической модели комплекса операций будем использовать временную сеть Петри N с за-

держкой в позициях [3, 4]. Событию, обозначающему начало или окончание некоторой работы, поставим в соответствие переход t_i , срабатывающий мгновенно. В частности, началу и окончанию всех работ будут соответствовать переходы t_0 и t_N . Операции, обозначающей процесс выполнения некоторой работы, будет соответствовать позиция p_j со временем задержки $\gamma(p_j)$, содержащий смысл которой – время выполнения j -ой работы. Метод вычисления функции $\gamma(p_j)$ будет рассмотрен ниже.

Дадим ряд определений из теории сетевого планирования и управления в терминах языка сетей Петри.

Определение 1. Событие t_2 непосредственно следует за событием t_1 , если существует операция (позиция) p такая, что $H(t_1, p) = 1$ и $F(p, t_2) = 1$, где H и F – функции инцидентности.

При корректном построении сетевой модели в эквивалентной сети Петри каждая позиция имеет один вход и один выход, так как два события сетевой модели могут быть связаны лишь одной операцией.

Определение 2. Операция p_2 непосредственно следует за операцией p_1 , если существует событие (переход) t такой, что $F(p_1, t) = 1$ и $H(t, p_2) = 1$.

Определение 3. Путем $W(t', t'')$ от события t' к событию t'' назовем последовательность событий ($t_{k_0} = t'$, t_{k_1} , t_{k_2} , ..., $t_{k_n} = t''$) такую, что для любых t_{k_j} и $t_{k_{j+1}}$ событие $t_{k_{j+1}}$ непосредственно следует за событием t_{k_j} , а $p_{k_{j+1}}$ – соединяющая их операция.

Для оценивания времени выполнения работ сопоставим каждой позиции (работе) три функции: $\tau_{\text{опт}}(p_i)$, $\tau_{\text{пес}}(p_i)$, $\tau_{\text{вер}}(p_i)$ – соответственно оптимистическое, пессимистическое и наиболее вероятное время выполнения i -й работы.

Эти три оценки даются экспертами для каждого вида работ. По ним можно вычислить среднее время $\tau_{\text{ср}}(p_i)$ выполнения i -й работы [5]. Эта величина и выбирается



в качестве времени задержки маркера в i -й позиции:
 $\gamma(p_i) = \tau_{cp}(p_i)$. Она определяется следующим образом:

$$\tau_{cp}(p_i) = \frac{\tau_{опт}(p_i) + 4\tau_{вр}(p_i) + \tau_{пес}(p_i)}{6}. \quad (1)$$

Дисперсия в позиции p_i вычисляется следующим образом:

$$\sigma^2(p_i) = \left(\frac{\tau_{пес}(p_i) - \tau_{опт}(p_i)}{6} \right)^2.$$

В сети используются маркеры одного типа. Наличие маркера в позиции p_j означает, что i -я работа выполняется в данный момент времени. Добавим ко множеству позиций P две особые позиции: $p_{\text{нач}}$ и $p_{\text{кон}}$. Первая из них соответствует началу всех работ и предшествует переходу t_0 ; $\cdot p_{\text{нач}} = \emptyset$, $p_{\text{нач}} = \{t_0\}$. Вторая соответствует окончанию всех работ и следует непосредственно за окончанием t_N всех работ в сетевой модели; $\cdot p_{\text{кон}} = \{t_N\}$, $p_{\text{кон}} = \emptyset$. Здесь и далее $\cdot p$ означает множество переходов, для которых позиция p является входной, а p^\cdot – множество переходов, для которых эта позиция является выходной. Аналогично, $\cdot t$ – множество позиций, которые являются входными для перехода t , а t^\cdot – множество его выходных позиций.

Начальную маркировку μ_0 сети N зададим следующим образом:

$$\begin{cases} \mu_0(p_{\text{нач}}) = 1 \\ \mu_0(p_i) = 0, i = 1, \dots, M, \text{ где } M \text{ – число операций} \\ \mu_0(p_{\text{кон}}) = 0. \end{cases}$$

Таким образом, $N = \{P, T, F, H, \mu_0, \gamma\}$ – времененная сеть Петри, в которой $P = \{p_i\} \cup P_{\text{нач}} \cup P_{\text{кон}}$, где p_i – операции сетевой модели; $T = \{t_i\}$, где t_i – события сетевой модели; F и H – функции инцидентности, получаемые непосредственно из сетевой модели; μ_0 – начальная маркировка; $\gamma = \gamma(p_i)$ – функция задержки в позиции p_i .

Эквивалентная сетевая модель Петри безопасна, так как сетевая модель не содержит циклов и начальная маркировка сети Петри содержит один маркер (рис. 1).

Рассмотрим время, необходимое для получения некоторого слова $l \in L(N)$ свободного языка сетей Петри. Пусть $l = (l', t_k)$. Поскольку переходы срабатывают мгновенно, то время $\theta(l)$ получения слова l соответствует времени, прошедшему с начала работы сети Петри до срабатывания перехода t_k . Переход t_k однозначно определяет слово l при заданных задержках в позициях сети, так что $\theta(l) = \theta(t_k)$.

Пусть время $\theta(t_i)$ – это наиболее ранний возможный срок свершения i -го события. Обозначим его через $T_E(t_i)$. Он может быть вычислен из соотношений

$$\begin{cases} T_E(t_0) = 0 \\ T_E(t_i) = \max_{p_j \in t_i} (T_E(t_j) + \gamma(p_j)), \text{ где } t_j \in \cdot p_j, \end{cases} \quad (2)$$

т. е. он определяется как максимум суммарного времени задержек по всем путям, ведущим из t_0 в t_i .

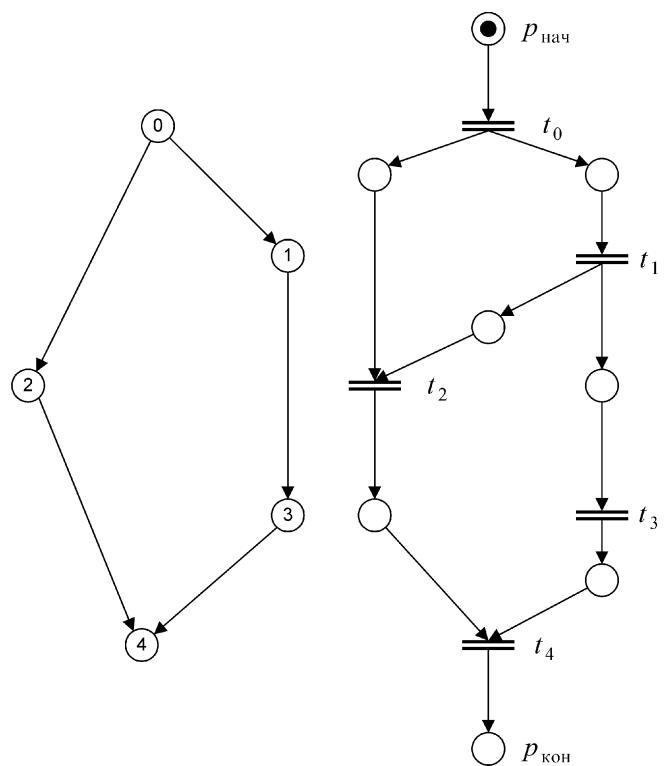


Рис. 1. Сетевая модель (слева) и эквивалентная ей сеть Петри

При этом условие срабатывания перехода t выглядит следующим образом: переход t может сработать, если $\forall p_j \in \cdot t$, верно, что $\mu(p_j) > 0$ и $\theta - T_E(t) \geq \gamma(p_j)$, где μ – текущая разметка сети, а θ – время, прошедшее с начала функционирования сети. Новая маркировка вычисляется по формуле:

$$\mu'(p) = \begin{cases} 1, p \in t^\cdot \\ 0, p \in \cdot t \\ \mu(p), \text{ иначе.} \end{cases}$$

При планировании комплекса операций для некоторых переходов (событий) может быть задан директивный срок $T_S(t_i)$, не позже которого должно произойти данное событие. Обычно задается срок окончания всех работ $T_S(t_N)$, сроки же завершения промежуточных событий могут быть заданы или отсутствовать в зависимости от важности этих событий. Для всех t_i может быть рассчитан наиболее поздний допустимый срок $T_L(t_i)$ возникновения события t_i , при котором не нарушаются директивные сроки окончания работ. Для его расчета можно воспользоваться выражением

$$\begin{cases} T_L(t_N) = T_S(t_N) \\ T_L(t_i) = \min_{p_k \in t_i} (T_L(t_k) - \gamma(p_k)), \text{ где } t_k \in \cdot p_k. \end{cases}$$

Таким образом, любому переходу t_i ставятся в соответствие две функции: $T_L(t_i)$ и $T_E(t_i)$.



Определение 4. Резервом $R(t_i)$ для i -го события назовем разность $T_L(t_i) - T_E(t_i)$.

Содержательно это резерв времени, который имеется для достижения i -го события.

Определение 5. Резервом $R(W(t', t''))$ назовем сумму резервов для всех событий, лежащих на этом пути:

$$R(W(t', t'')) = \sum_{t_i \in W(t', t'')} R(t_i).$$

Определение 6. Путь $W_{kp}(t', t'')$ с минимальным резервом назовем критическим:

$$R(W_{kp}) = \min_{W_i \in W(t', t'')} R(W_i).$$

Можно рассчитать вероятность $P(t_i, T_S(t_i))$ наступления некоторого события t_i в срок $T_S(t_i)$:

$$P(t_i, T_S(t_i)) = P_{\text{ном}} \left(\frac{T_S(t_i) - T_E(t_i)}{\sqrt{\sum \sigma(p_j)^2}} \right),$$

где $P_{\text{ном}}(x)$ — нормальное распределение величины x , а $\sigma_{T_E} = \{\sigma(p_j) : p_j \in W(t_0, t_i)\}$, т. е. дисперсии в позициях, лежащих на пути от начального перехода t_0 к переходу t_i .

Определение 7. Критический путь W_{kp} от события t_0 к событию t_N назовем критическим путем выполнения всех работ.

В зависимости от резерва на этом пути можно говорить об избытке ($R(W_{kp}) > 0$), недостатке ($R(W_{kp}) < 0$) и критическом количестве ($R(W_{kp}) = 0$) ресурсов. Удовлетворительным решением задачи считается такое распределение ресурсов, когда $T_E(t_N) \leq T_S(t_N)$, т. е. представляется возможным закончить все работы не позже директивного срока.

Если $T_E(t_N) > T_S(t_N)$ и выполнение всех работ в срок маловероятно, можно прибегнуть к перераспределению ресурсов: определить избыток или недостаток ресурсов для любого события t_i и, основываясь на этой информации, принять решение о перераспределении ресурсов с целью уменьшить время $T_E(t_N)$ до значения, не превышающего директивного срока $T_S(t_N)$. Перераспределение ресурсов выражается в задании новых временных оценок $\tau_{\text{опт}}(p_i)$, $\tau_{\text{пес}}(p_i)$ и $\tau_{\text{вер}}(p_i)$ для некоторых операций p_i . Лицо, принимающее решение (ЛПР), может снять некоторое количество ресурсов с операции p_i , лежащей на пути к событию t' , резерв которого положителен, и передать его на операцию p_j , лежащую на пути к событию с отрицательным резервом (т. е. нехваткой ресурсов).

В зависимости от количества ресурсов для операции p_i эксперт может оценить оптимистическое, пессимистическое и наиболее вероятное время выполнения этой операции. Для нового распределения ресурсов можно снова рассчитать значение $T_E(t_N)$ и сравнить его с директивным сроком $T_S(t_N)$. Если путем перераспределе-

ния ресурсов не удается уменьшить время $T_E(t_N)$ до значения, не превышающего директивного срока $T_S(t_N)$, то имеет смысл пересмотреть директивные сроки выполнения всех работ или привлечь резервы извне.

Рассмотрим процесс распределения ресурсов более детально. Пусть имеется K видов ресурсов. Через r_i^j обозначим количество ресурса i -го типа, используемое при выполнении j -й операции. Если данный тип ресурса не используется при выполнении j -й операции, то $r_i^j = 0$. Время выполнения операции зависит от используемых ресурсов, поэтому временные оценки $\tau_{\text{опт}}(p_j)$, $\tau_{\text{пес}}(p_j)$ и $\tau_{\text{вер}}(p_j)$ можно рассматривать как функции r_i^j , ..., r_K^j : $\tau_{\text{опт}}(r_i^j, \dots, r_K^j)$, $\tau_{\text{пес}}(r_i^j, \dots, r_K^j)$, $\tau_{\text{вер}}(r_i^j, \dots, r_K^j)$. Далее по формулам (1) и (2) рассчитывается время $T_E(t_N)$. Таким образом, задачу о распределении ресурсов можно поставить следующим образом: выполнить работу как можно быстрее, не превысив срока $T_S(t_N)$ и затратив имеющиеся ресурсы. Математическая формулировка этой задачи выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \min T_E(t_N) \\ T_E(t_N) \leq T_S(t_N) \\ \sum_{j=1}^M r_i^j \leq r_i^0, i = 1, \dots, K, \end{cases}$$

где третье условие означает ограничения на ресурсы i -го типа. Может быть поставлена задача выполнения работ в срок при минимальных затратах ресурсов:

$$\begin{cases} \min \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^M r_i^j \\ T_E(t_N) \leq T_S(t_N) \\ \sum_{j=1}^M r_i^j \leq r_i^0, i = 1, \dots, K. \end{cases}$$

Также можно поставить задачу о выполнении работ в срок при минимальных затратах на ресурсы:

$$\begin{cases} \min \sum_{i=1}^K c_i \sum_{j=1}^M r_i^j \\ T_E(t_N) \leq T_S(t_N) \\ \sum_{j=1}^M r_i^j \leq r_i^0, i = 1, \dots, K, \end{cases}$$

где c_i — стоимость единицы ресурсов i -го типа.

Часто приходится планировать выполнение работ в условиях нехватки времени и ресурсов. Если не удается уменьшить время $T_E(t_N)$ до значения, не превышающего срока $T_S(t_N)$, т. е. выполнить работы в установленный срок, то имеет смысл говорить о дефиците времени.

Определение 8. Дефицитом времени для достижения события t_i назовем разность $D(t_i) = T_E(t_i) - T_S(t_i)$.



Очевидно, что $D(t_i) = -R(t_i)$. Будем говорить о наличии резерва времени для достижения события t_i , если $T_E(t_i) < T_S(t_i)$, т. е. $R(t_i) > 0$, и о дефиците времени в противном случае, т. е., если $D(t_i) > 0$.

Определение 9. Дефицитом $D(W(t', t''))$ на пути W назовем суммарный дефицит времени для всех событий, лежащих на этом пути:

$$D(W(t', t'')) = \sum_{t_i \in W(t', t'')} D(t_i).$$

Определение 10. Путь $W_{kp}(t', t'')$ с максимальным дефицитом времени назовем критическим: $D(W_{kp}) = \max_{W_i \in W(t', t'')} D(W_i)$.

Определение 11. Общим дефицитом времени назовем дефицит времени для завершения всех работ: $D_0 = D(t_N) = T_E(t_N) - T_S(t_N)$.

Для уменьшения общего дефицита времени необходимо выделить дополнительные ресурсы для выполнения некоторых работ, лежащих на критическом пути $W_{kp}(t_0, t_N)$. При этом могут возникнуть новые критические пути.

В условиях дефицита времени задача распределения ресурсов может ставиться следующим образом: минимизировать общий дефицит времени, используя имеющиеся в распоряжении ресурсы, т. е. выполнить работы как можно быстрее. Математическая формулировка этой задачи выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \min D(t_N) \\ \sum_{j=1}^M r_i^j \leq r_i^0, i = 1, \dots, K, \end{cases}$$

где второе условие означает ограничения на ресурсы i -го типа.

Некоторые виды работ могут иметь первостепенную важность и в любом случае должны быть выполнены в срок. События t_i^{kp} , соответствующие окончанию таких работ, назовем критическими. Обозначим через T^{kp} множество всех критических событий. В этом случае задача распределения ресурсов может быть поставлена следующим образом:

$$\begin{cases} \min D(t_N) \\ T_E(t_i) \leq T_S(t_i), t \in T^{kp} \\ \sum_{j=1}^M r_i^j \leq r_i^0, i = 1, \dots, K, \end{cases}$$

где $T_S(t_i)$ – срок окончания i -ой критической работы.

Если перераспределение ресурсов на сети не приводит к удовлетворительным результатам, может быть пересмотрена последовательность выполнения работ и скорректирована структура сети Петри. На полученной таким образом новой сети Петри ставятся аналогичные задачи.

ОБОБЩЕННЫЙ ДЕФИЦИТ

Пусть имеется график работ, представленный некоторой сетевой моделью. Временные оценки выполнения некоторой работы (наиболее вероятная, оптимистическая и пессимистическая) являются функциями ресурсов, выделенных на выполнение этой работы.

Поскольку некоторые из запланированных работ могут быть сходными по природе и различаться лишь объемом затрачиваемых ресурсов, то целесообразно разделить работы по видам. Для выполнения различных работ одного вида требуются ресурсы одного и того же вида. Подобное разделение позволит понизить размерность решаемых в дальнейшем оптимизационных задач.

Пусть в процессе выполнения работ могут быть использованы ресурсы K видов r_1, \dots, r_K для выполнения M видов работ. Тогда каждой запланированной работе p_j будет соответствовать пара: q_j – вид работы $q_j \in \{1, \dots, M\}$ и h_j – объем работы ($h_j \geq 0$).

Каждый ресурс единичной мощности может выполнять различные виды работ с различной эффективностью. Можно ввести матрицу эффективности размерности $K \times M$, элементы k_{ij} которой равны эффективности выполнения некоторой единицы работы j -го вида i -ым единичным ресурсом. Таким образом, некоторую работу может выполнять средство, для этой работы не предназначенное, но справляющееся с ней с ненулевой эффективностью.

При корректном задании матрицы эффективности время выполнения работы p_j вида q_j и объема h_j является функцией суммарной эффективности ресурсов, выделенных на ее выполнение:

$$\tau_j = h_j \cdot f \left(\sum_{i=1}^N n_{ij} k_{iq_j} \right),$$

где n_{ij} – мощность i -го ресурса, выделенного на выполнение работы p_j .

Если в качестве эффективности k_{ij} взять величину, обратную времени выполнения единицы работы j -го вида i -ым единичным ресурсом, то

$$\tau_j = \frac{h_j}{\sum_{i=1}^N n_{ij} k_{iq_j}}. \quad (3)$$

Оценка эффективности k_{ij} может быть трех видов: оптимистическая, пессимистическая и наиболее вероятная, и временная оценка τ_j может быть также трех видов.

Введем понятие обобщенного дефицита.

Для некоторого события t_i определим наиболее раннее возможное время его наступления $T_E(t_i)$ описанным ранее образом, т. е. как максимум суммарного времени выполнения работ по всем путям, ведущим в событие t_i из начальной вершины. Для события t_i может быть задан директивный срок $T_S(t_i)$, не позже которого должно



произойти данное событие. Если событие не произошло в срок $T_S(t_i)$, то имеют место некоторые потери. Дефицитом времени для достижения события t_i была названа разность $D(t_i) = T_E(t_i) - T_S(t_i)$. В случае, если эта разность отрицательна, будем считать, что $D(t_i) = 0$. Для события t_i введем функцию потерь $e_i(t)$, которая моделирует потери в результате просрочки директивного времени наступления i -го события на время t .

Определение 12. Обобщенным дефицитом для достижения события t_i назовем величину $D_0(t_i) = e(T_E(t_i) - T_S(t_i))$.

Содержательный смысл обобщенного дефицита – потери, возникающие при наличии временного дефицита для достижения события t_i . Наиболее важные события, невыполнение которых в срок приносит большие потери, имеют более крутую функцию потерь e_i . Можно установить пороговое значение потерь, превышение которого недопустимо, т. е. для события t_i могут быть введены ограничения: $D_0(t_i) \leq E_i$.

Определение 13. Обобщенным дефицитом $D_0(W(t', t''))$ на пути W назовем суммарный обобщенный дефицит для всех событий, лежащих на этом пути:

$$D_0(W(t', t'')) = \sum_{t_i \in W(t', t'')} D_0(t_i). \quad (4)$$

По аналогии с обобщенным дефицитом для событий может быть определен обобщенный дефицит для их последовательности и установлено пороговое значение потерь для пути W , превышение которого недопустимо: $D_0(W(t', t'')) \leq E_{tt''}$.

По аналогии с определением 6 может быть введено понятие критического пути в смысле обобщенного дефицита.

Определение 14. Путь $W_{kp}(t', t'')$ с максимальным обобщенным дефицитом назовем критическим.

Критический путь в смысле обобщенного дефицита может не совпадать с критическим путем в смысле дефицита времени, который, в свою очередь, отличается от критического пути в терминах сетевого планирования.

Теперь может быть поставлена задача минимизации обобщенного дефицита (суммарных потерь) при некоторых ограничениях на ресурсы, которые могут быть двух типов: невосполнимые и восполнимые. Ограничение на невосполнимые ресурсы выглядит следующим образом:

$$\sum_{j=1, \dots, M} n_{ij} \leq N_i,$$

т. е. суммарная мощность i -го ресурса ограничена на всем комплексе работ величиной N_i .

Ограничение на восполнимые ресурсы выглядит следующим образом:

$$\sum_{j=1, \dots, M} n_{ij}(\theta') \leq N_i,$$

т. е. одновременно может быть использована ограниченная мощность i -го ресурса. Здесь $n_{ij}(\theta')$ – мощность

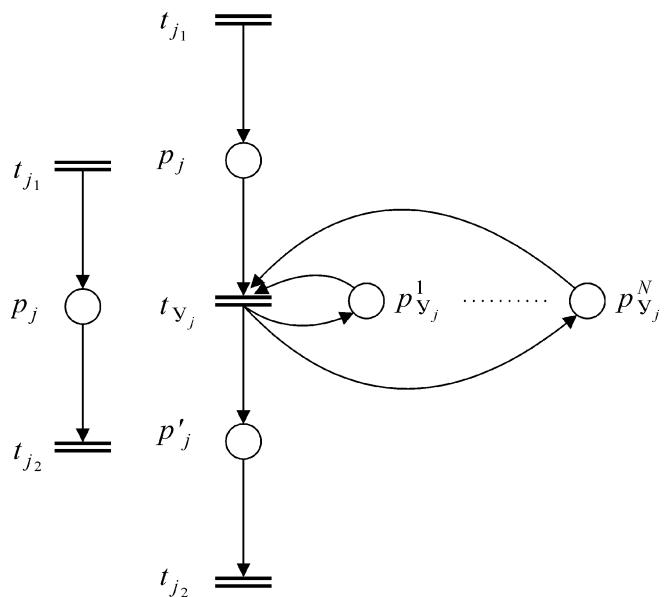


Рис. 2. Фрагмент сети с управляющим переходом и управляющими позициями

i -го ресурса, выделенная для выполнения j -ой работы в момент времени θ' . Считается, что переброска ресурсов с одних работ на другие происходит мгновенно.

Для моделирования обобщенного дефицита в терминах сетей Петри поставим в соответствие каждому событию сетевой модели переход t_i , а каждой операции (работе) – позицию p_j , как это делалось ранее. На этой сети зададим начальную маркировку μ_0 такую, что в начальной позиции находится один маркер ω , а остальные позиции пусты. Наличие маркера ω в позиции p_j означает, что в данный момент выполняется j -ая работа. Заменим каждую позицию p_j фрагментом сети, показанным на рис. 2.

Время задержки маркеров в позициях p_j , p'_j , p_{yj}^1 , ..., p_{yj}^N равно нулю. Время срабатывания перехода t_{yj} равно времени выполнения соответствующей работы и зависит от количества поступающих на него маркеров.

Число маркеров, находящихся в позициях p_{yj}^1 , ..., p_{yj}^N , соответствует емкости ресурса r_j , выделенного для выполнения работы p_j . Управляющие позиции могут быть объединены в сеть Петри, моделирующую, например, транспортную сеть для переброски ресурсов с одних работ на другие. Суммарная мощность маркеров, моделирующих выделенные ресурсы, на сети ограничена и может уменьшаться при срабатывании управляющих переходов. Это может означать истощение ресурсов по мере их участия в выполнении работ.



При срабатывании управляющего перехода t_{Y_j} маркер переходит в позицию p'_j (работа выполнена), после чего может сработать переход t_{j_2} .

Время срабатывания управляющего перехода вычисляется по формуле (3). На основании времен выполнения работ, полученных по формуле (1), по формуле (2) может быть вычислен наименее ранний возможный срок достижения событий. Далее по формуле (4) вычисляется обобщенный дефицит D_0 .

Начальная маркировка выглядит следующим образом: один маркер находится в позиции $p_{\text{нач}}$, а в управляющих позициях находится то количество маркеров, которое выделено для выполнения соответствующих работ. В процессе функционирования сети Петри вычисляется и оценивается обобщенный дефицит. В случае его неприемлемости можно перераспределить ресурсы или, по возможности, привлечь новые ресурсы извне.

При дефиците ресурсов важно выделение операций, повреждение которых вызовет невыполнение работ в заданный срок или выход из строя всей системы. Множество таких операций назовем множеством уязвимости комплекса операций.

Определение 15. *Множеством уязвимости комплекса операций назовем множество $R_a = \{t_i\}$, такое, что $t_i \in R_a$, если при исключении операции t_i из комплекса операций $T_E(t_N) > T_S(t_N)$.*

Операции $t_i \in R_a$ назовем критическими операциями. Отметим, что в системе могут оказаться операции, исключение которых из комплекса операций не повлечет существенного изменения срока выполнения всех работ.

Определение 16. *Множеством избыточности комплекса операций назовем множество $R_I = \{t_i\}$, такое, что $t_i \in R_I$, если при исключении операции t_i из комплекса операций $T_E(t_N) < T_S(t_N) + \delta$, где δ – допустимое отклонение от директивного срока.*

При дефиците ресурсов встает задача минимизации потерь путем перераспределения имеющихся ресурсов. Выделение множества уязвимости позволяет выявить «тонкие места» комплекса операций, которые нужно обеспечить ресурсами в первую очередь. Ресурсы можно привлечь, сняв их с избыточных операций $t_i \in R_I$. Однако при таком перераспределении ресурсов могут появиться новые критические операции.

В процессе перераспределения ресурсов между операциями следует определить, какие из операций наиболее важные, а выполнением каких можно пренебречь. Для этого определим приоритетность среди операций.

Пусть невыполнение операции t_i влечет за собой не выполнение множества операций $\{t_j\}$.

Определение 17. *Множество $R_a^i = t_i \cup \{t_j\}$ назовем множеством отказа для операции t_i .*

Множество отказа для операции содержит саму эту операцию, а также те операции, к невыполнению которых она приводит.

Пусть c_i – ущерб, к которому приведет невыполнение одной операции t_i .

Определение 18. *Суммарным ущербом от невыполнения операции t_i назовем величину $C_i = \sum_{j \in R_a^i} c_i$.*

В процессе перераспределения ресурсов операции могут быть проранжированы в соответствии с их суммарным ущербом C_i .

Если внутренних ресурсов системы недостаточно для выполнения работ в срок, то необходимо привлечь дополнительные ресурсы извне для обеспечения выполнения работ $t_i \in R_a$ или реструктурировать систему с целью уменьшения мощности множества уязвимости. В этом случае целесообразно ввести дополнительные операции, которые будут дублировать критические операции из множества уязвимости. В результате введения новых операций возможно возникновение дополнительных избыточных операций. Избыточные операции, с одной стороны, отвлекают на себя дополнительные ресурсы, но, с другой стороны, они могут дублировать критические операции, делая систему более устойчивой к повреждениям.

Вновь созданная структура комплекса операций, в свою очередь, может быть исследована на наличие критических операций.

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ ДЕФИЦИТА РЕСУРСОВ

При дефиците ресурсов ставятся задачи такого их перераспределения, чтобы сохранить работоспособность системы и уменьшить время достижения конечного результата.

Можно выделить три группы методов анализа системы и управления ресурсами в условиях их дефицита:

- выделение критических событий и попытка максимизировать вероятность их предотвращения благодаря реструктуризации системы и отказа от ряда работ;
- выделение магистральных путей и перераспределение ресурсов с целью максимального обеспечения ими множества магистральных путей;
- определение «курса действий», когда на каждом шаге моделирования определяется ближайшая цель, перераспределяются ресурсы для её достижения и, по достижении, повторно анализируется система для выявления новой цели.

Выделение критических событий. Под таковыми понимаются события, возникновение которых приводит к выходу системы из строя. Ставится задача минимизации вероятности возникновения таких событий путем перераспределения ресурсов или реструктуризации системы. Цель этой задачи состоит в уменьшении мощности множества уязвимости R_a . Основные методы её решения состоят в дублировании критических операций, обеспечении критических событий дополнительными ресурсами (возможно, из-за отказа от других видов работ) и реструктуризации системы с введением новых технологических цепочек.



В соответствие каждому событию (переходу) сети N ставится вероятность его возникновения $P(t_i)$, которая может быть рассчитана как сумма произведений вероятностей получения слов терминального языка сетей Петри, содержащих переход t_i :

$$P(t_i) = 1 - \prod_{\substack{m \in L(t_0, t_N) \\ t_i \in l_m}} \left(1 - \prod_{t_k \in l_m} P(t_k) \right).$$

При дублировании критической операции система выйдет из строя, если все операции из дублирующей группы выйдут из строя. Вероятность возникновения критической ситуации на этом звене вычисляется как произведение вероятностей возникновения каждой из операций, входящих в дублирующую группу.

Вероятность выхода системы из строя может быть вычислена как вероятность возникновения хотя бы одного события из множества уязвимости R_a :

$$P_{\text{авар}} = 1 - \prod_{t_i \in R_a} \left(1 - \prod_{\substack{m \in L(t_0, t_N) \\ t_i \in l_m}} \left(1 - \prod_{t_k \in l_m} P(t_k) \right) \right),$$

которая минимизируется введением ряда новых путей выполнения работ, моделируемых словами языка сетей Петри $L(t_0, t_N)$. При наличии ограничений на множестве $L(t_0, t_N)$ старые пути могут быть отброшены.

Математическая формулировка этой задачи выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \min_{L(t_0, t_N)} \left[1 - \prod_{t_i \in R_a} \left(1 - \prod_{\substack{m \in L(t_0, t_N) \\ t_i \in l_m}} \left(1 - \prod_{t_k \in l_m} P(t_k) \right) \right) \right] \\ R(L(t_0, t_N)) \leq r, \end{cases}$$

где $R(L(t_0, t_N))$ – некоторая мера, вводимая на множество слов языка сетей Петри, а r – некая ограничительная константа. В качестве меры может быть принята суммарная мощность используемых в системе ресурсов.

Выделение магистральных путей. Магистральным путем назовем такой путь $W_M(t_0, t_N)$, что при выполнении всех лежащих на этом пути работ достигается конечная цель комплекса операций. Задача состоит в максимальном обеспечении ресурсами всех операций множества магистральных путей, возможно, отказавшись от других работ. При использовании языка сетей Петри магистральным путем будет любое слово терминального языка сетей Петри $t_i \in L(t_0, t_N)$, полученное при достижении конечной маркировки.

Магистральным множеством назовем множество $R_m = \{t_k\}$, в которое входят все работы магистральных путей $W_{M_i}(t_0, t_N)$. Операция t_i принадлежит множеству $W_{M_i}(t_0, t_N)$, если найдется такое слово языка сетей Петри

$t_j \in L(t_0, t_N)$, что $t_i \in l_j$. Дополнение магистрального множества \bar{R}_m будет содержать те работы, от которых можно отказаться, сохранив систему в работоспособном состоянии. Высвободившиеся ресурсы можно распределить по оставшимся работам магистрального множества путей. Оптимизационная задача в этом случае имеет вид:

$$\begin{cases} \min D(t_N) \\ \sum_{j=1}^M r_i^j \leq r_i^0, i = 1, \dots, K \\ r_i^j = 0, t_j \in \bar{R}_a, i = 1, \dots, K. \end{cases}$$

Определение «курса действий». Данный метод предполагает динамическое перераспределение ресурсов по мере развития системы. Его применение может не приводить к оптимальному решению проблемы с точки зрения конечной цели, но он позволяет более чутко реагировать на изменения, происходящие в системе, и минимизировать текущие потери.

На n -ом шаге итерации ставится некоторая цель t_n и решается задача перераспределения ресурсов с целью максимально быстро ее достижения:

$$\begin{cases} \min T_E(t_n) \\ \sum_{j=1}^M r_i^j \leq r_i^0, i = 1, \dots, K, \end{cases}$$

где второе условие означает ограничения на ресурсы i -го типа. Может быть поставлена задача выполнения работ в срок при минимальных затратах ресурсов:

$$\begin{cases} \min \sum_{i=1}^K \sum_{j=1}^M r_i^j \\ T_E(t_n) \leq T_S(t_n) \end{cases}$$

или задача выполнения работ с использованием ресурсов минимальной стоимости:

$$\begin{cases} \min \sum_{i=1}^K c_i \sum_{j=1}^M r_i^j \\ T_E(t_n) \leq T_S(t_n) \\ \sum_{j=1}^M r_i^j \leq r_i^0, i = 1, \dots, K. \end{cases}$$

По достижении цели ставится очередная $(n + 1)$ -ая цель и решается аналогичная задача.

Здесь следует различать два типа ресурсов: неиссякаемые ресурсы, количество которых на каждом шаге остается постоянным (единицы техники и, с некоторыми ограничениями, людские ресурсы), и иссякаемые ресурсы, имеющие некий лимит и расходующиеся по мере выполнения работ (это могут быть материалы, топливо,



провизия и т. д.). С учетом этого оптимизационная задача на n -ом шаге итерации имеет вид:

$$\begin{cases} \min T_E(t_n) \\ \sum_{j=1}^M r_i^j \leq r_i^0, r_i \in R_I \\ \sum_{j=1}^M r(n)_i^j \leq r_i^0 - \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=1}^M r_i^j(t), r_i \in R_{II}, \end{cases}$$

где R_I и R_{II} – множество ресурсов первого и второго типов.

Оптимальность «курса действий» главным образом зависит от выбора последовательности целей t_n . Задача выбора целевой последовательностей $\{t_n\}$ в общем случае является переборной задачей и может быть решена методом ветвей и границ. На практике ближайшая цель выбирается ЛПР эвристически.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании модели комплекса операций, построенной с использованием языка сетей Петри с задержками, введены понятия резерва и дефицита ресурсов. Поставлены задачи оптимального распределения ресурсов и получены способы управления комплексом операций в условиях дефицита ресурсов.

В дальнейшем, на основании введенных понятий резерва и дефицита ресурсов, могут быть введены понятия эффективности и гибкости комплекса операций в целом. С помощью вновь введенных понятий могут быть поставлены задачи не только оптимального распределения ресурсов на имеющемся комплексе операций, но и построения оптимальной структуры самого комплекса: добавление новых операций, их удаление или изменение способа из выполнения. Может быть введена операция предпочтения для комплексов операций, реализующих одну и ту же функцию.

ЛИТЕРАТУРА

- Бурков В.Н., Ланда Б.Д., Ловецкий С.Е. и др. Сетевые модели и задачи управления. – М.: Сов. радио, 1967.
- Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. – М.: Мир, 1984.
- Berthomieu B., Diaz M. Modelling and verification of time dependent systems using time Petri nets // IEEE Trans. on Software Eng. – 1991. – Vol. 17, N. 3. – P. 259 – 273.
- Макаров И.М., Назаретов В.М., Кульба А.В., Швецов А.Р. Сети Петри с разноцветными маркерами // Техническая кибернетика. – 1987. – № 6.
- Бурков В.Н., Ловецкий С.Е. Методы решения экстремальных задач комбинаторного типа // Автоматика и телемеханика. – 1968. – № 11.

☎ (095) 334-90-09

E-mail: kulba@ipu.rssi.ru



ABSTRACTS

Durgarian I.S., Pashchenko F.F.

COMBINED STATISTICAL CRITERIA AND THE MODELS OPTIMAL SUBJECT TO A CLASS OF CRITERIA

The problems of stochastic system modeling and identification subject to combined criteria are considered. Criteria equivalence conditions are formulated. Equivalence conditions for the models built subject to different identification criteria are derived.

Kopnin M.Yu., Kul'ba V.V., Mikrin E.A.

APPLICATION OF PETRI NET TOOLS IN NETWORK PLANNING AND MANAGEMENT SYSTEMS UNDER RESOURCE DEFICIT CONDITIONS

The problems of resource allocation over a set of operations are considered. Petri nets with position delays are applied for modeling an operation set. Based on the models developed, the concepts of stockpile and resource deficit are introduced. The ways of operation set management under resource deficit conditions are investigated.

УДК 519.240

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗДОРОВЬЕМ И ВОЗМОЖНОСТИ ЕГО РЕАЛИЗАЦИИ В УСЛОВИЯХ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ¹

Л.А. Дартау

В терминах классической теории управления рассмотрены проблемы медико-социального благополучия населения. Здоровье представлено как сложноорганизованный объект в системе государственного управления. Показано, что обучение здоровью, выявление факторов риска заболеваний и лечение – суть воздействия на объект в цепи прямой связи, а регуляторов в контуре управления, как минимум, два – сам индивид и государство. Сделан вывод, что ответственность за конечный результат (индивидуальное и популяционное здоровье) должна быть разделена между этими субъектами управления.

Попытки формализации понятия *здоровье* – феномена, присущего объектам живой природы – равно как и попытки дать хотя бы вербальное его определение до сих пор неизвестны. Исторически принято считать, что все знания, связанные со здоровьем, получены и принадлежат медицине, которая и использует их в своей практической деятельности. По этой же причине наличие здоровья отождествляется с отсутствием болезней. Однако всеобщее развитие науки и техники и внедрение их достижений в область экспериментальной и практической медицины привели ко всё возрастающему интересу к проблеме здоровья уже со стороны представителей других наук, которые пытаются расширить наши представления о здоровье, используя подходы и методы, доказавшие свою работоспособность в других областях. В настоящей работе *здоровье* рассматривается с позиций классической теории (автоматического) управления в качестве сложноорганизованного объекта в системе государственного управления.

¹ В 2001–2003 гг. работа выполнялась при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 01-06-80181).

Теория управления – относительно молодая наука, сформулировавшая ряд организационных принципов, которые, в свою очередь, могут быть применимы к управлению объектами любой природы. Здоровье – не исключение. Основными терминами и словосочетаниями, которыми оперирует теория управления являются: объект управления, контур управления, регулятор, устройства (элементы) воздействия на объект, измерение состояния объекта, измерительные устройства (элементы), цепи прямой и обратной связи, а также цель (критерий) управления и эффективность управления.

Эти термины легко воспринимаются на слух, поскольку все они широко используются в практике всех отраслей хозяйствования, да и повседневной жизни тоже. Однако ряд принципов теории управления объединяют все эти понятия в некую логическую схему, отклонения от которой всегда приводят к срыву процесса управления и часто к разрушению объекта в случае его искусственной природы. Эта, возможно, неожиданная и необычная логика рассуждений в отношении здоровья может оказаться полезной для организаторов здравоохранения. Главное – она позволяет избавиться от эмоций, мешающих принятию оп-

тимальных решений, и ограничить рамками возможного идеалистические (или даже утопические) порывы и заменить их на реалистические.

Историческая справка. В 1960-е гг. в Институте проблем управления АН СССР д-ром техн. наук, профессором Александром Михайловичем Петровским (1925–1993) совместно с Институтом клинической и экспериментальной хирургии АМН СССР была инициирована работа по изучению процессов управления в живых организмах применительно к задачам управления искусственным сердцем. За прошедшие годы круг исследований, связанных с изучением объектов живой природы, значительно расширился. Начиная с 1985 г. это направление получило развитие применительно к задачам автоматизированного сбора данных о распространенности среди населения жалоб и факторов риска, касающихся основных хронических неинфекционных заболеваний (ХНИЗ). Эта работа также была инициирована А.М. Петровским в рамках академической темы «Исследование неоднородных популяций и управление по неполным данным». Поводом для начала работ послужили, с одной стороны, развернутые в эти годы широкомасштабные долговременные исследования Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ) по распространенности в европейских странах, США и Канаде факторов риска основных ХНИЗ (так называемая программа «СИНДИ»), а с другой стороны, появление первых отечественных образцов персональных компьютеров «Искра», которые можно было использовать для

интерактивного общения с пользователем. Испытания первого варианта компьютерных программ прошли на базе поликлиники №78 г. Москвы (главный врач – Л.М. Манукян).

Хронические неинфекционные заболевания являются основной (более 87%) причиной смертности и инвалидизации населения развитых стран. Это, в первую очередь, сердечно-сосудистые заболевания, онкологические, эндокринные (диабет), а также пограничные расстройства центральной нервной системы и связанные с ними депрессивные состояния. Все эти заболевания характеризуются длительным (более 10 лет) периодом развития и имеют общие причины возникновения. Однако в связи с индивидуальными особенностями конкретного организма (неоднородность популяции) развитие получает сначала одно из них. Для выяснения этих конкретных особенностей требуется сбор информации анамнестического характера, т. е. собранной со слов пациента. Именно этот этап исследования и решено было автоматизировать, создав условия для самостоятельного диалога пациента с компьютером, во время его визита в поликлинику. Одновременно формализации подлежала и процедура принятия решения о попадании (или нет) пациента в группу риска на наличие (возможное развитие) у него того или иного ХНИЗ. За годы работы в создании вопросников для автоматизированного сбора данных принимали участие многие специалисты-медики из ведущих научно-исследовательских медицинских учреждений.

Попадание в группу риска не означало постановку диагноза. Пациент с результатами компьютерного заключения направлялся к участковому терапевту, который мог либо сразу поставить диагноз, либо направить пациента на дополнительные лабораторно-инструментальные дообследования и к соответствующему специалисту, либо расценить это заключение как преждевременное, поскольку группы риска формировались экспертизами-медиками по расширенным критериям. Для решения поставленных задач была создана система ЭДИФАР (Экспертный Диалог для Исследования ФАкторов Риска), которая реализована на персональных компьютерах для самостоятельного заполнения электронного варианта анкеты респондентом, не имеющим опыта общения с вычислительной техникой, и которая, в соответствии с современной классификацией, может быть отнесена к классу прикладных интеллектуальных систем. В настоящее время система ЭДИФАР представляет собой сертифицированный комплекс программ в составе: программа сбора данных от респондентов, программа формирования диалога и выдачи экспертного заключения, демонстрационный ролик. На стадии разработки находится еще один компонент комплекса с рабочим названием «ЭДИФАР-Статистика», который позволит «неквали-

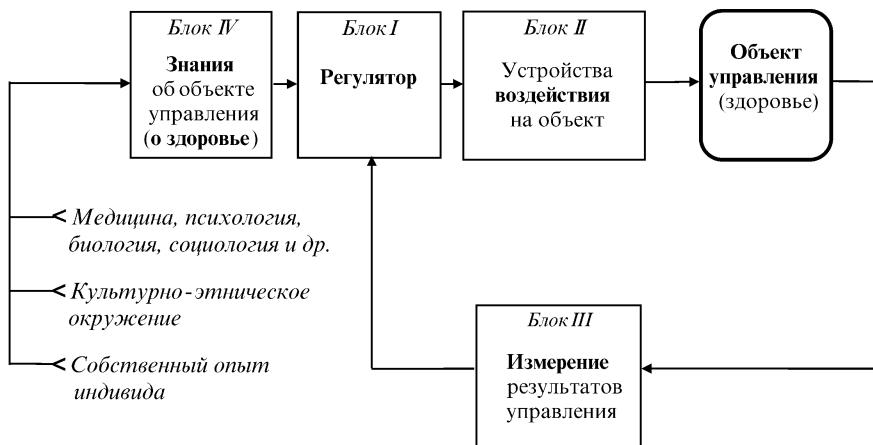


Рис. 1. Структурная схема системы управления в общем виде (применительно к здоровью)

фицированным» пользователям осуществлять первичную (и в то же время достаточную для принятия управлений) обработку данных.

С 1989 по 1995 гг. эта работа проводилась, в частности, и на базе поликлиники №1 РАН (главный врач – Е.И. Лебедь). Она вызвала интерес и получила поддержку со стороны руководства Медицинского объединения РАН в лице его директора д-ра мед. наук, профессора Владимира Николаевича Захарова. Сотрудничество с МО РАН не прекращалось до момента реорганизации этого подразделения Академии наук. В настоящее время В.Н. Захаров продолжает участвовать в работе по развитию технологии ЭДИФАР в качестве одного из основных экспертов-медиков. Весомую поддержку работы получила и от академика Бориса Викторовича Раушенбаха, который при личной встрече в 1993 г. не только профессионально оценил полученные результаты, но и настойчиво посоветовал не отказываться от продолжения исследований в столь сложный для отечественной науки период. Он же организовал научный семинар для представления результатов работы в Научно-исследовательском институте социальной гигиены, экономики и управления здравоохранением им. Н.А. Семашко – ведущему учреждению РАМН по этим проблемам. Итогом стали многочисленные контакты со специалистами в области организации здравоохранения, столь необходимые в развитии этой работы. В настоящее время суть работы может быть сформулирована как «Фундаментальные и прикладные аспекты изучения, измерения и управления индивидуальным и популяционным здоровьем», а её прикладные результаты называются «Компьютерная технология и система ЭДИФАР».

С учетом ограниченного объема статьи её теоретическая часть намеренно излагается в максимально скжатом виде, а ограниченный список литературы приводится в количестве

только 30-ти наименований и не как ссылки по ходу текста, а включает в себя только наиболее значимые для разработки подхода источники.

Начнем с двух, общепринятых в настоящее время, определений.

1. Управление – это такая организация того или иного процесса, которая обеспечивает достижение определенных целей.

2. Здоровье – это динамическое состояние психического, физического и социального благополучия индивида (и общества), а не только отсутствие болезней и физических недостатков.

В англоязычном оригинале документа ВОЗ на месте слова «психического» стоит латинский термин «*mental*», который, помимо психического, включает в себя также умственный и духовный компоненты деятельности центральной нервной системы, определяющие соответственно характер, способности и нравственность индивида.

Применительно к рассматриваемому объекту, структурная схема контура управления в общем виде может быть представлена, как показано на рис. 1.

Итак, выбрав в качестве объекта управления здоровье, первое, что необходимо принять во внимание – это естественную природу его возникновения и существования (в отличие от искусственно созданных технических объектов, благодаря которым была создана теория управления). Здоровьем, следовательно, можно и не управлять, т. е. не ставить в отношении него каких-либо целей как со стороны индивида, так и со стороны государства, что и происходило (происходит) в течение



многих тысячелетий. Однако на современном этапе развития мирового сообщества ни одно из национальных сообществ, претендующих на статус государства в рамках требований ООН, не может не включать «охрану здоровья населения» в качестве одной из составляющих государственной деятельности, осуществляющей посредством специально созданных инфраструктур – национальных «систем здравоохранения». А поскольку формализованные оценки здоровья отсутствуют, то ответственность государства за конечный результат – здоровье конкретного человека и населения в целом, повсеместно была заменена ответственностью именно за деятельность по охране здоровья, контролируемую с помощью легко исчисляемых оценок этой деятельности (доля бюджета, выделяемая на нужды здравоохранения, количество врачей на душу населения и т. д.). При этом практически все выделяемые из бюджета средства шли (и продолжают идти), в первую очередь, на «лечение болезней» и совершенствование способов лечения.

В то же время на клеточном, органном и поведенческом уровнях здоровье, как и любой жизненно важный параметр гомеостаза, управляет самим человеком независимо от того, осознает он это или нет, а следовательно, и ответственность за управление (и его эффективность) несет он же и также независимо от того, осознает он это или нет. Этот вывод является ключевым в последующих рассуждениях о возможности практической реализации управления здоровьем со стороны государства. Живой организм представляет собой открытую систему, которая обменивается с окружающей средой веществом, энергией и информацией, а, следовательно, параметры, его характеризующие, суть результат деятельности по поддержанию баланса потоков, участвующих в обмене. Нарушение баланса приводит к накоплению в организме неблагоприятных изменений, которые, в свою очередь, приводят к критическим состояниям, инвалидности и преждевременной смерти. Неконтролируемый со стороны индивида процесс накопления неблагоприятных изменений иногда длится десятилетиями (неправильное питание, курение, гиподинамия, стрессы и т. п.) и, как правило, совпадает с главным в жиз-

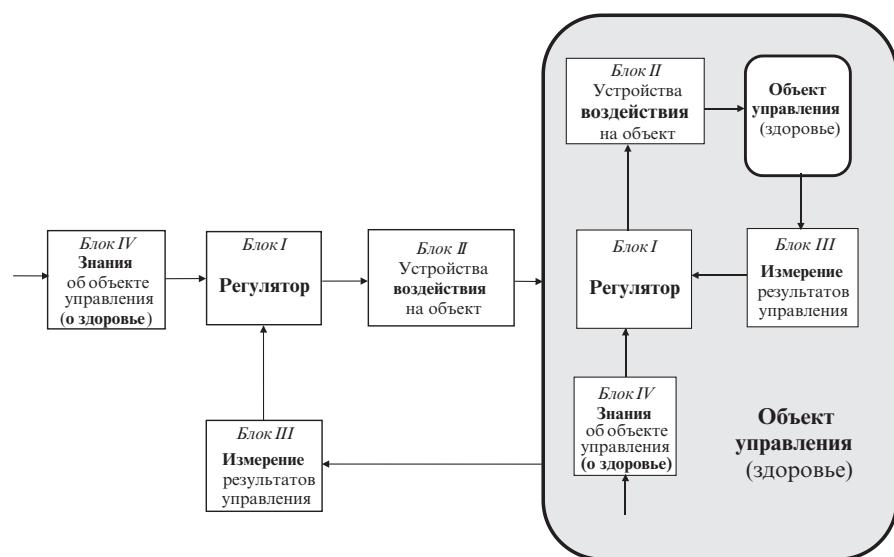


Рис. 2. Структурная схема системы управления здоровьем при взаимодействии лечебных или образовательных структур и индивида

ни человека периодом от 20 до 40 лет. С одной стороны, в этот период на человека выпадает решение основных биологических и социальных задач. С другой стороны, к 40 годам заканчивается действие многих адаптационно-компенсаторных механизмов, обеспечивающих поддержание гомеостаза в режиме «автопилота». Как правило, после 40 лет диагноз, связанный с онкологическим заболеванием или поставленный после вывода пациента из неотложного состояния (инфаркт, инсульт, диабетическая кома и т. д.), является приговором к вынужденному образу жизни. Прежнее состояние здоровья и образ жизни вернуть нельзя, а следовательно, собственный опыт не может явиться основой для обучения и не дает возможности вовремя принять адекватное решение. Для этого требуется «чужой, популяционный опыт», переданный индивиду в виде знаний, и контроль за усвоением этих знаний. Примером такого «чужого опыта» может служить результат длившегося в течение многих лет популяционного исследования ВОЗ, направленного на определение разницы в средней продолжительности жизни курящих и некурящих членов популяции (она оказалась равной 10–15 годам).

Таким образом, здоровый человек не имеет мотивации для обращения к системе здравоохранения, в то время как больной вынужден к ней обращаться независимо от её качеств-

ва и возможностей. Человек, как носитель здоровья или, в терминах теории управления, его «регулятор», только тогда становится объектом управления в структуре здравоохранения, когда он осознает наличие отклонений в собственном здоровье и предоставляет (временно делегирует) право на осуществление управляющих воздействий на свой организм (т. е. лечение) со стороны независимых специалистов. В случаях отключенного сознания, например, во время оперативных вмешательств, процесс управления оказывается организованным согласно рассмотренной схеме (см. рис. 1), где роль регулятора отводится специалисту из системы здравоохранения. Во всех остальных случаях человек является полноправным участником процесса управления здоровьем, и схема организации этого процесса может быть проиллюстрирована рис. 2. В этом варианте система управления включает в себя два регулятора, один из которых находится в объекте. Другими словами, когда речь идет о здоровье, объект уже представляет собой систему управления, автономную по отношению к внешнему регулятору. Любые попытки со стороны внешнего регулятора воздействовать непосредственно на здоровье возможны только в случае согласованных действий с внутренним регулятором, т. е. самим человеком. Эта схема может усложняться внутри за счет учета других, иерархически бо-



лее «низких» контуров управления, например, при управлении здоровьем ребенка. В зависимости от конкретной ситуации, она может также усложняться путем разделения функций регулятора между несколькими субъектами управления. Что касается деятельности системы здравоохранения на уровне учреждений первичной медицинской помощи (территориальных и ведомственных поликлиник), на долю которых приходится более 85% обращений населения, то здесь процесс управления здоровьем протекает согласно схеме, представленной на рис. 1, и роль регулятора (блок I) при этом принадлежит самому человеку. Человек сам оценивает свое состояние и принимает решение обратиться в поликлинику (блок IV), специалисты которой предоставляют ему необходимые знания о конкретном нарушении здоровья (ставят диагноз) и способах его устранения (прописывают лекарства и процедуры). Затем человек сам же осуществляет процесс воздействия на объект (блок II) и сам же оценивает результаты (блок III). Повторное обращение в поликлинику происходит только в случае неудовлетворительного (опять же с точки зрения самого человека) результата управления.

Однако управление здоровьем не ограничивается только лечением при отклонениях соматической природы. Согласно приведенному выше определению здоровья, оно характеризуется также психической, физической и социальной составляющими, отклонения в которых сначала осознаются индивидом как угроза благополучному существованию, а затем приводят к отклонениям уже на соматическом уровне и к необходимости лечения. Психическое, физическое и социальное здоровье субъективны по своей природе и их оценки, а следовательно, и управление ими невозможны без учета мнения самого человека и его непосредственного участия.

Термин «гомеостаз» правомерен и для описания процессов на популяционном уровне. Психическое и социальное благополучие индивида возможно лишь при наличии гармонии с социумом, когда социальные претензии и удовлетворенность отношениями с окружающими подкреплены соответствующими возможностями. Нарушение баланса на уровне взаимоотношений с популя-

цией приводит индивида к хроническому стрессу, крайним выходом из которого для некоторых оказывается самоубийство. Индивидуальные знания о психических и физических возможностях человека вообще (и о своих, в частности), необходимы каждому для реализации собственного потенциала здоровья.

Современные представления о взаимоотношениях государства и гражданина различают четыре основные формы: силовая, правовая, экономическая и информационная. Если речь идет о лечении, особенно в случаях оперативного вмешательства, то присутствуют одновременно силовая и правовая формы. В случаях амбулаторного лечения – правовая и информационная, причем вторая выступает как передача профессиональных знаний. Если же на государственном уровне делается попытка управления здоровьем в полном объеме, то здесь на первое место выходит проблема исключительно информационного взаимодействия с индивидом, которое обеспечивает формирование у него мотивированного желания сохранять и укреплять собственное здоровье и здоровье людей, его окружающих (детей, в первую очередь). Если же такого желания не возникло, государство может закрепить на правовом уровне ответственность за здоровье самого гражданина. Так, в ряде стран уже предпринимаются попытки лишения гражданина бесплатных услуг здравоохранения в ситуациях, когда он не следовал определенным правилам самосохранительного поведения, на обучение которым государство затратило определенные средства. Свобода в выборе того или иного способа организации повседневной жизни имеет следствием ответственность индивида за этот выбор, тем более в случаях, когда он был предупрежден о последствиях выбора. При этом человек должен быть информирован не только об особенностях и ограниченности собственных возможностей при реализации тех или иных жизненных планов, он также должен быть информирован и об ограниченности возможностей современной медицины, особенно в отношении лечения последствий неправильного образа жизни. Отсюда вытекает и необходимость постоянного обучения в течение всей жизни, поскольку медицинские знания и технологии непрерывно совершенствуются.

Аналогом такого рода управления на государственном уровне является *обучение* человека в структуре системы общего и профессионального образования. Речь не идет о пропаганде здорового образа жизни как средстве передачи медицинских знаний через СМИ, поскольку здесь полностью отсутствует обратная связь и нет даже уверенности в присутствии объекта управления. Как и в системе образования, *обучение здоровью* должно иметь целью контролируемую грамотность индивида с последующей возможностью разделения с ним ответственности за конечный результат – текущее состояние здоровья. (По аналогии с обладанием водительским удостоверением и ответственностью за безопасность движения на дорогах, включающую покрытие расходов потерпевшей стороны.) Для такого обучения целесообразно воспользоваться государственной системой образования, через которую проходит поголовно все население. Управление в этом случае осуществляется согласно схеме, представленной на рис. 2, когда в контуре управления одновременно присутствуют два регулятора.

Следует признать, что в России осознание такой необходимости и практические инициативы принадлежат, в первую очередь, системе образования. В последние годы подобное обучение успешно реализуется в рамках отдельных учреждений высшей школы по инициативе администрации вузов. Название же новой дисциплины, предназначенный для такого обучения здоровью, находится в состоянии обсуждения представителями педагогической и медицинской общественности, а термин «валеология» (от лат. *valeo* – здравствовать, быть здоровым) пока еще нельзя считать общепризнанным.

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана оказался одним из первых в стране, где решением ректората была поставлена цель – *сохранение и укрепление здоровья студентов в период обучения*, а деятельность по достижению цели организована в соответствии с принципами управления. Реализация этой идеи в полном объеме осуществляется кафедрой валеологии (зав. кафедрой – д-р мед. наук, профессор Г.И. Семикин) при участии ИПУ РАН.

Что касается деятельности государства по поводу обучения здоро-



вью на уровне территорий (и ведомств), то регулятором здесь может быть только местная власть (и руководство ведомств).

Поэтапный учет особенностей здоровья как объекта управления и особенностей исторического развития медицинской науки и государственных систем здравоохранения позволяет расширять и совершенствовать развивающийся подход в плане его практической реализации. Медицина как искусство оказания помощи человеку в ситуациях с отклонениями в здоровье существовала всегда. Однако достижения медицинской науки и практики в виде специализированной деятельности одной из сфер государственного управления были востребованы около 300 лет назад, когда начали появляться первые государственные системы здравоохранения, финансируемые из бюджета. Причиной этому послужило открытие бактериальной природы инфекционных заболеваний, определявших до середины XIX в. продолжительность жизни населения, которая не превышала 30 лет. Создание вакцин и необходимость поголовной иммунизации граждан потребовали организационных мероприятий на государственном уровне с явно выраженной силовой составляющей во взаимоотношениях с населением. Однако эффект от мероприятий в плане снижения социальной напряженности и увеличения продолжительности жизни до 50 лет был настолько велик по сравнению с усилиями и не столь значительными расходами из казны, что повсюду в развитых государствах претенденты на власть во время предвыборных кампаний стали обещать своим избирателям увеличение расходов на здравоохранение и медицинскую науку в случае избрания. К середине XX столетия были синтезированы первые антибиотики, применение которых позволило снизить детскую смертность до незначительных величин и избегать осложнений и летальных исходов в случаях травм и оперативных вмешательств. Продолжительность жизни в большинстве стран европейского региона (включая Россию), США и Канаде достигла 70 лет. В это время была создана ВОЗ, как одно из подразделений ООН, курирующее вопросы здоровья с правом принятия рекомендательных решений на уровне мирового сообщества. В большинстве

развитых стран доля бюджета, выделяемого на нужды здравоохранения, достигла 7–10%.

Начиная с 1970-х гг. ВОЗ предупреждала, что деньги «скоро кончатся» и что высокие технологии в медицине не решают интегральных проблем здоровья. Все больше людей имеет шанс остаться в живых, без восстановления здоровья, создавая все большую нагрузку на общества за счет инвалидов. Поиски причин, ограничивающих продолжительность жизни, привели к «неутешительному» для медицинской науки результату — это ХНИЗ с периодом развития в одно-два десятилетия. Все они имеют общие факторы риска, которые индивид приобретает или получает по наследству вне поля деятельности систем здравоохранения. Основных факторов шесть и связаны они с образом жизни конкретного индивида: курение, злоупотребление алкоголем, неправильное и нерациональное питание, гиподинамия, нарушения сна, стресс. Продолжительное воздействие факторов риска формирует такое состояние здоровья, которое может быть названо как стадия «предболезни», и для некоторых ХНИЗ эта стадия может быть обнаружена. В то же время период бессимптомного протекания ХНИЗ, как правило, мало беспокоит индивида до наступления катастрофы (инфаркта, инсульта, диабетической комы, депрессии и др.).

Выявление факторов риска, а также работа с группами риска должны, по мнению ВОЗ, осуществляться на уровне учреждений первичной медицинской помощи, в пользу которых волевым решением со стороны государства должны быть перераспределены ресурсы (кадры и финансовые средства) здравоохранения в соотношении 60 : 40 между поликлиниками и стационарами. Конкретные мероприятия должны разрабатываться в каждой стране по-своему в зависимости от особенностей инфраструктуры здравоохранения и национальных традиций. Эти рекомендации ВОЗ практически нигде не принимались во внимание, пока в 1990-е гг. в США, стране с наибольшей долей бюджета на здравоохранение, равной 15%, конгресс не отказал президенту в очередном ее увеличении. Это время следует считать началом «болезненных» реформ национальных систем здравоохранения, связанных со сменой парадиг-

мы развития и переходом от «ориентации на расходы» к «ориентации на конечный результат». Объективно обусловленный всем ходом развития цивилизации этот переход ставит системы здравоохранения в один ряд с другими государственными структурами, деятельность которых обоснована экономическими критериями в условиях фиксированной доли бюджета, а развитие обеспечивается за счет адекватной расстановки приоритетов. Результатом развития событий стало появление в 1998 г. новой редакции Всемирной декларации по здравоохранению, которая теперь ставит

одну постоянную цель:

— достижение полной реализации всеми людьми их потенциала здоровья,

и две основные цели:

— укрепление и охрана здоровья людей на протяжении всей их жизни;

— снижение распространенности и уменьшение страданий, вызываемых основными болезнями, травмами иувечьями.

Другими словами, декларируется приоритетная роль самого человека в достижении первой из основных целей и, как следствие, роль обучающих мероприятий, позволяющих человеку овладеть технологиями самоохранительного поведения. За медициной остается вторая из основных целей — традиционная ее гуманистическая миссия, в решении задач которой мнение человека также имеет место, когда речь идет о реанимации или даже эвтаназии, а также неприятии частью населения определенных методов лечения по морально-этическим причинам.

С учетом вышеизложенного, контур управления здоровьем должен включать в себя в качестве воздействия на объект (помимо обучения и лечения) еще одну составляющую — периодический процесс выявления факторов риска среди населения (так называемый скрининг) и работу с группами риска с целью отдалить (не допустить) развитие конкретного ХНИЗ у конкретного индивида. Схема управления в этом случае опять соответствует приведенной на рис. 2, т. е. в процесс управления человек должен быть включен в качестве равноправного партнера. Разрабатываемая в ИПУ РАН компьютерная технология и система ЭДИФАР позволяют реализовать на практике в условиях Рос-

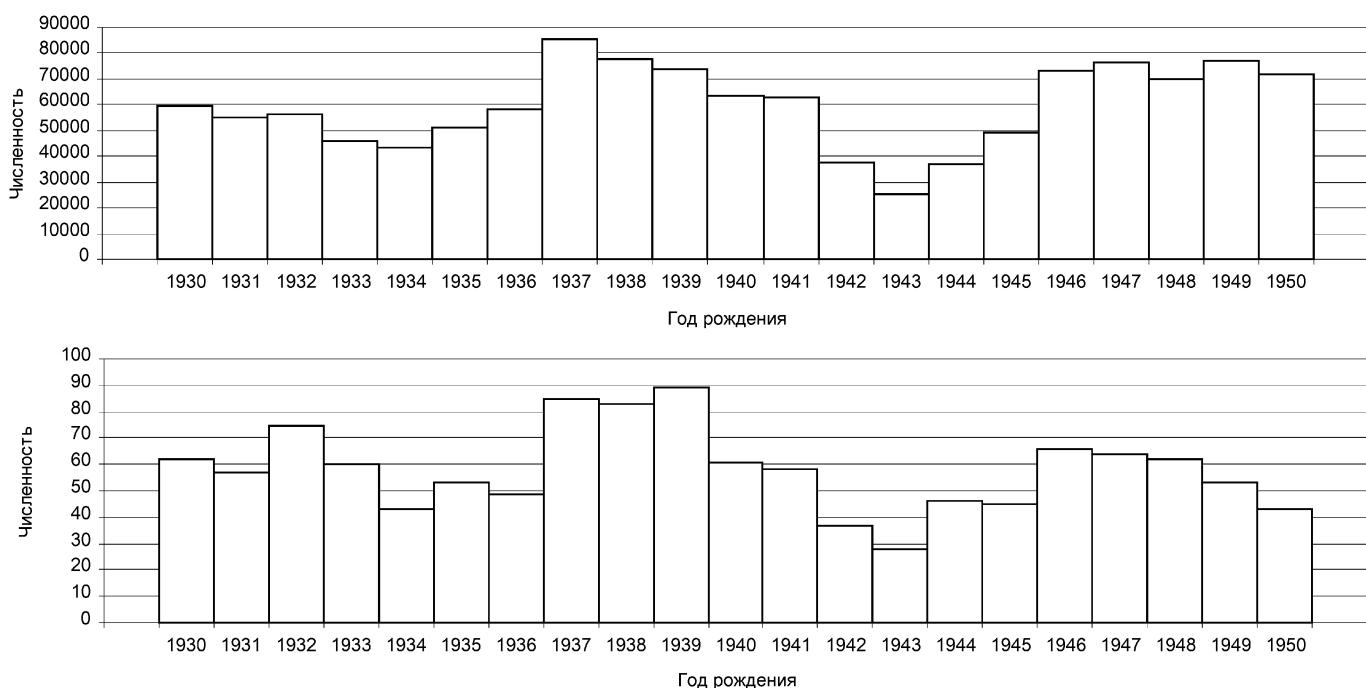


Рис. 3. Возрастной состав: женщин г. Москвы 1930–1950 гг. рождения по данным Мосгорстата (вверху); пациенток-москвичек, самостоятельно посетивших поликлинику №1 в 1990–1992 годы, по данным ЭДИФАР (внизу)

сийской Федерации эти современные требования к управлению здоровьем.

Особенность инфраструктуры системы здравоохранения РФ заключается в широко развитой сети территориальных и ведомственных поликлиник, обслуживающих значительные по объему контингенты населения (от 400 до 1000 первичных обращений за день). Первый опыт применения системы компьютерного диалога для собеседования с населением в доврачебном кабинете поликлиники сразу же дал положительные результаты. С 1985 по 1989 г. через доврачебный кабинет прошло несколько десятков тысяч человек. Главным результатом этого масштабного эксперимента следует считать не столько доказанную возможность применения компьютеров для целей анкетирования на тему ХНИЗ, сколько психологическую *адекватность* поведения пациентов при сборе медико-социальной информации в учреждении первичной медицинской помощи, которое может быть охарактеризовано как равноправное партнерство. За все годы работы до настоящего времени практически не было случаев отказа от компьютерного собеседования. Именно поведение людей определило успех всей

последующей работы и продолжает поддерживать чувство уверенности разработчиков в том, что разработанный подход, впоследствии названный нами «Компьютерная технология и система ЭДИФАР», будет восребован государственной властью на местах.

Когда были получены первые несколько тысяч результатов собеседования, анализ статистических данных позволил обнаружить одну очень важную и принципиальную для дальнейшего развития работы особенность поведения популяции в рамках организованного с ней общения. А именно, для собеседования приглашались только те пациенты, кто самостоятельно принял решение посетить в этот день поликлинику и только один раз за «отчетный период». Построив диаграмму распределения по возрастам, мы обнаружили значительный дефицит пациентов 1942–1943 гг. рождения. Сравнение её с демографическим профилем населения страны в целом обнаружило качественное сходство, а дефицит рождений был связан с периодом Великой Отечественной войны. Это дало повод высказать предположение, что частота обращений в поликлинику людей с различными признаками (пол, возраст и т. д.) соот-

ветствует тому, как эти признаки распределены в популяции в целом. Предположение требовало подтверждения, и оно было получено уже в другом учреждении первичной медицинской помощи – поликлинике №1 РАН за период 1990–1992 гг. На рис. 3 на двух гистограммах представлен возрастной состав женщин 1930–1950 гг. рождения. Верхняя гистограмма представляет часть всего населения г. Москвы (4 708 774 женщины). Нижняя – только женщин тех же возрастов, посетивших поликлинику в этот период (2 025 чел.).

Обнаруженные особенности популяционного поведения позволяют рассматривать поликлиники как уникальные государственные учреждения, через которые проходят потоки людей, *репрезентативно* отражающие медико-социальные характеристики всего населения данной территории. Репрезентативность означает, что, начиная с некоторого количества опрошенных, доли тех или иных ответов, накапливаемых в базе данных системы ЭДИФАР, перестают меняться, и мы узнаем распространенность в популяции тех или иных признаков задолго до полного перебора всех её членов. Другими словами, *субъективная информация, полученная от конкретных*



индивидуов и рассматриваемая в совокупности, становится по мере накопления объективной популяционной характеристикой. Обнаруженный эффект дает возможность оперативно получать сведения о распространенности тех или иных факторов, связанных с медико-социальным благополучием на местах, не прибегая к дорогостоящим демоскопическим исследованиям на основе выборочных опросов населения.

Такую уникальную возможность в отношении показателей медико-социального благополучия дают только территориальные учреждения первичной медицинской помощи. Обусловлено это природой недоровья, когда случайные (в математическом смысле) для отдельного индивида события, связанные с ухудшением самочувствия, имеют закономерное распространение на уровне популяции. В результате в поликлинике люди обращаются так, как они представлены в популяции, т. е. в соответствии с демографическими (и другими) особенностями состава населения данной территории. Как следствие, эта технология позволяет узнать и оценить знания, мнения и мотивации населения, включая такие аспекты, как уровень и качество жизни, а также отношение населения к социальным и экологическим проблемам на данной территории, поскольку все эти понятия имеют непосредственное отношение к здоровью и адекватно воспринимаются в обстановке доврачебного кабинета. Таким образом, появляется возможность оперативно контролировать (измерять) ситуацию со здоровьем на местном, территориальном уровне и на её основе формировать управляющие воздействия на объект через конкретных индивидов.

В качестве примера приведем результаты работы в рамках гранта Института устойчивых сообществ (США). В 2001–2002 гг. с помощью технологии ЭДИФАР было проведено исследование детских популяций на территориях, обслуживаемых четырьмя поликлиниками в гг. Клин (Московская обл.), Ярославль (поликлиники №№ 2 и 5) и Байкальск (Иркутская обл.). Позднее к этому исследованию самостоятельно присоединилась одна из детских поликлиник г. Благовещенска (главный врач – А.И. Самсонов). В левом столбце табл. 1 в формате выходных сообщений системы ЭДИФАР при-

ведены названия групп риска на наличие (возможное развитие) заболеваний органов дыхания, потенциально связанных с качеством воздуха в среде обитания ребенка. Если по совокупности признаков пациент отнесен системой к одной или нескольким группам, то текст соответствующего сообщения печатается в КРС непосредственно после диалога с компьютером. В столбцах справа для каждой из поликлиник приведены размеры этих групп риска, стандартизованные на момент получения результатов собеседования, кратных примерно 300 чел. Таблица наглядно демонстрирует процесс стабилизации данных по мере их накопления. О размерах большинства групп риска можно судить уже по первым 300 пациентам, прошедшим собеседование.

Работа по гранту не ограничивалась одной лишь демонстрацией возможностей системы ЭДИФАР. На основе технологии ЭДИФАР были предложены конкретные организационные мероприятия, суть которых заключается в следующем:

Как только ситуация с состоянием атмосферного воздуха ухудшается, увеличивается число вызовов скорой помощи по поводу приступов и обострений, в первую очередь, от пациентов из групп риска. Это могут быть как лица с уже выявленными хроническими заболеваниями, так и лица в стадии «предболезни». Связано это с тем, что население из групп риска обладает повышенной чувствительностью к воздействиям любой природы. Первоначальная причина заболеваний органов дыхания может быть никак не связана с загрязнением атмосферного воздуха, но наличие такого заболевания обязательно даст обострение в случае ухудшения экологической обстановки. Для того чтобы избежать увеличения случаев обострения заболеваний, а также нарастания социальной напряженности по поводу данной проблемы (что для властей не менее важно), ответственность за конечный результат необходимо перераспределить между основными участниками процесса формирования факторов риска и возникновения симптомов наличия (или возможного развития) заболеваний органов дыхания. Во-первых, это родители ребенка, которые, возможно, передали часть факторов ему по наследству, а часть – путем создания опре-

деленного образа жизни и среды обитания (курение в присутствии ребёнка, неправильное питание, животные в доме и т. д.). Во-вторых, это состояние жилищного фонда, например, сырость, печное отопление и прочие факторы, связанные с деятельностью коммунальных служб. В-третьих, это загрязнение атмосферного воздуха предприятиями и транспортными путями. Если со стороны местной власти управление здоровьем (применительно к детской патологии, связанной с органами дыхания) рассматривать в соответствии с изложенным выше подходом, то семья ребенка, администрация конкретного коммунального хозяйства и администрации предприятий различных форм подчинения должны быть включены в контуры управления в качестве «регуляторов», со всеми вытекающими из этого правами и ответственностью. А именно, органам местной власти следует:

- информировать родителей как об особенностях состояния здоровья их ребёнка, так и о наличии неблагоприятных факторов в среде его обитания, а также фиксировать в амбулаторной карте ребенка ответственность родителей за их вклад в текущее и, возможно, в будущее недоровье;

- информировать администрации коммунальных служб и предприятий, которые вносят свой вклад в загрязнение атмосферного воздуха, об уже имеющихся размерах групп риска и привлекать их к организации и обеспечению процесса мониторинга здоровья детей, помогая поликлиникам оборудованием и средствами.

Вся цепочка контактов проходит через поликлиники, а решения принимаются с учётом заключений врачей. Признавая при этом компетентность медицины в вопросах оценки здоровья, местная власть не вправе возлагать ответственность на учреждения здравоохранения за отклонения в здоровье, причиной которых является окружающая среда или образ жизни.

Следующий пример касается управления здоровьем подростков и молодежи. Специфические особенности этого контингента населения заключаются в том, что именно в этом возрасте человек формируется как личность с определенным образом жизни, изначально закладывая в него привычки и навыки, возможно



несовместимые с самосохранительным поведением. В то же время, параметры здоровья 20-летних признаются за «точку отсчета» при разработке любых заместительных терапий и восстановительных методик, а следовательно, управление здоровьем в этом возрасте должно сводиться в основном к обучению. Для обнаружения индивидуальных особенностей образа жизни требуется организация скрининга и последующая деятель-

ность по созданию у конкретного индивида мотивированного желания самостоятельно что-либо менять. В последние 5 лет система ЭДИФАР используется разработчиками для собеседования с подростками во время ежегодной весенней диспансеризации в поликлинике № 111 Северо-Восточного административного округа г. Москвы (главный врач – А.П. Осиенко). Собеседование анонимное, поскольку вопросник за-

трагивает очень сложные проблемы подростковой среды, касающиеся употребления наркотиков, алкоголя и курения, а также психологические и физиологические проблемы взаимоотношений с окружающими.

Работа с подростками требует особых психотерапевтических подходов и обязательной конфиденциальности. Как показал наш опыт, предпочтение должно отдаваться индивидуальным беседам (хотя это и

Таблица 1

Динамика процесса стабилизации параметров популяции по мере накопления данных

Город (номер поликлиники)	Клин	Байкальск	Ярославль (2)	Ярославль (5)	Благовещенск
Собеседование прошли на день-месяц-год	306 чел. 22-09-01 616 чел. 14-11-01 900 чел. 28-02-02	290 чел. 11-09-01 642 чел. 12-10-01 906 чел. 30-11-01	302 чел. 10-09-01 606 чел. 23-10-01 910 чел. 15-11-01	326 чел. 30-08-01 616 чел. 17-09-01 905 чел. 18-10-01	330 чел. 26-04-02 649 чел. 20-06-02 953 чел. 08-08-02
Заключение	Процент от прошедших собеседование				
Не исключено неблагоприятное воздействие внешнешедовых факторов	51,31 45,94 43,00	32,41 30,07 26,49	71,85 68,32 66,70	20,86 23,86 22,98	56,06 58,09 56,98
Повышенная аллергенность домашней обстановки	54,90 53,41 55,53	61,03 59,19 58,94	49,34 52,64 56,15	46,32 45,94 45,64	53,94 55,93 54,04
****! (социально неблагополучные условия)	20,59 18,34 18,44	19,31 22,90 22,08	22,19 22,94 24,84	22,09 19,48 18,78	23,33 25,27 22,77
Предрасположенность к аллергии	38,56 35,71 33,33	48,28 42,21 40,07	40,40 39,60 36,37	38,96 38,47 37,13	40,91 40,99 39,87
Рекомендации	Процент от прошедших собеседование				
ЧБР! Обратитесь к доктору (ф. и. о.) за дополнительными рекомендациями	4,90 5,03 3,89	7,24 5,61 5,52	4,64 5,61 5,93	6,75 6,82 6,85	9,09 6,32 5,56
Необходимо исключить респираторный аллергоз	16,34 16,88 15,00	26,90 25,23 23,29	18,54 18,65 17,25	17,48 15,91 14,59	20,00 16,33 16,05
Решить врачу вопрос о целесообразности консультации окулиста	0,65 0,49 0,33	1,03 0,78 0,66	0 0,17 0,22	0,61 0,32 0,22	0,91 0,46 0,42
Врачу решить вопрос о целесообразности консультации невропатолога	16,67 17,37 17,33	21,72 19,63 17,99	17,88 15,51 14,95	11,04 11,36 12,49	16,36 11,86 11,33
Исключить формирование бронхиальной астмы	4,90 3,73 2,78	3,10 3,89 3,53	2,65 3,47 3,52	2,45 3,57 2,98	5,15 4,31 3,57
!?! (проблемы со здоровьем, о которых не спросили)	16,67 15,26 12,33	21,72 20,25 18,54	14,57 16,17 16,37	12,88 11,69 11,38	13,33 13,10 11,96
Всего: 4574 чел.					



очень дорого), поскольку коллективные занятия очень сложно сделать привлекательными для этого возраста. Предстоит еще огромная работа в этом направлении, в том числе и по созданию учебников, не просто излагающих особенности строения человеческого тела, психики и правила гигиены, а призывающие к сотрудничеству с государством в вопросах управления здоровьем. В то же время везде в мире и в России, в частности, социальный заказ на необходимость такого рода деятельности давно сформировался. Однако предлагаемые для решения проблемы подходы носят до сих пор частный характер, воспроизводятся только самими разработчиками и не годятся для тиражирования. С позиций развивающегося в настоящей работе подхода процесс управления уже можно начинать, используя при этом и результаты собеседований во время плановых диспансеризаций как для стратегического планирования, так и для текущей работы. Со стороны государства в настоящее время делаются попытки взять под контроль ситуацию с подростками в России. Согласно Приказу № 154 от 05.05.99 Минздрава РФ, население в возрасте 15–18 лет переводится на обслуживание детскими поликлиниками, в которых повсеместно создаются отделения (кабинеты) медико-социальной помощи для приёма именно подростков. Для работы в кабинетах выделяются ставки медицинских психологов. По мнению разработчиков, применение системы ЭДИФАР для выявления неблагополучных подростков с целью последующей конфиденциальной беседы с ними позволит значительно повысить эффективность работы этих кабинетов. Очень многие проблемы подростков требуют не столько медицинского, сколько педагогического вмешательства воспитательно-образовательного характера. Получив на руки напечатанные результаты, многие подростки не уходят сразу же из кабинета, а задают вопросы. Наш опыт показывает, что те из них, чье неблагополучие было затронуто во время собеседования, пытаются привлечь к себе внимание, а иногда обращаются с просьбой о помощи, которую разработчики, к сожалению, не могут им предоставить. Это задача властей на местах. А поликлиники с нашей точки зрения, являются уникальным и

наиболее подходящим местом как для выявления факторов неблагополучия, так и для «воздействия» на эту категорию населения, поскольку обязательная в этих ситуациях конфиденциальность общения обеспечивается статусом медицинского учреждения.

Табл. 2. демонстрирует динамику распространения табакокурения среди подростков 15–16 лет за пять лет.

Данные приводятся только как результат измерения, поскольку на данном этапе речь не идет об управлении здоровьем в рамках излагаемого подхода. В отличие от данных, получаемых в результате одноразовых (или даже долговременных) научных исследований для изучения объекта исследования, эти данные предназначены именно для пошаговой коррекции усилий, направленных на снижение потребления табака среди подростков учебных заведений, расположенных на территории обслуживания поликлиникой. Доля никогда не куривших школьниц 15–16 лет практически не изменилась за эти 5 лет и составляет чуть более 50%. У юношей-школьников 15–16 лет доля никогда не куривших возросла с 30 до 45%. Такой успех косвенно можно связать и с работой педагогов в школах, и с деятельностью СМИ, и с влиянием семьи. Однако, в первую очередь, это жизненная позиция самого подростка, основанная на сегодняшних реалиях нашего общества. Подавляющее большинство, около 75% опрошенных,

которые никогда не курили, на вопрос «Почему Вы не курите? Что удержало или оттолкнуло Вас от курения?» выбирают ответ «Знаю, что это очень вредно для здоровья».

Подростки, которые пробовали курить, но «бросили», на вопрос «Почему Вы перестали курить?» практически все выбирают ответ «По собственному желанию». Ни один из них не выбрал ответ «По совету врача».

В заключение сделаем некоторые выводы. Если поставлена цель управления – сохранение и улучшение здоровья отдельного человека и населения в целом, то необходимо принять во внимание, что здоровье изначально принадлежит и уже управляет самим человеком (независимо от того, осознает он свою управляющую роль или нет). Следовательно, для достижения цели необходимо включение человека в контур управления в качестве равноправного партнера на всех этапах процесса управления объектом.

При этом следует выделить несколько ключевых моментов:

- формулировка целей (критерия) управления должна быть известна и доступна пониманию отдельного человека, создавая у него мотивированное желание что-то делать в данном направлении;

- управление требует средств и времени; если человек осознанно сохраняет свое здоровье, то он отдает себе отчёт в том, что не просто ест, пьет и спит, а делает это с учё-

Таблица 2
Распространенность курения среди старших школьников в г. Москве
(в процентах от числа опрошенных)

Юноши 15–16 лет						
Всего: 924 чел.	1998 г. 108 чел.	1999 г. 229 чел.	2000 г. 184 чел.	2001 г. 191 чел.	2002 г. 212 чел.	
ВЫ КУРИТЕ?						
Никогда не курил(а)	30,56	35,81	39,13	39,27	45,75	
Курил(а) в прошлом	14,81	19,65	21,20	15,18	18,87	
Курю сейчас	49,07	33,19	31,52	28,27	22,64	
Курю иногда	5,56	11,35	8,15	17,28	12,74	
Девушки 15–16 лет						
Всего: 1105 чел.	98 чел.	337 чел.	286 чел.	181 чел.	203 чел.	
ВЫ КУРИТЕ?						
Никогда не курил (а)	52,04	52,52	53,50	53,59	53,69	
Курил (а) в прошлом	15,31	13,95	15,73	17,13	17,24	
Курю сейчас	18,37	14,84	17,13	19,89	19,21	
Курю иногда	14,29	18,69	13,64	9,39	9,85	



том современных представлений о самосохранительном поведении;

– отдавая государству налоги, гражданин вправе требовать от него определенных действий в отношении собственного здоровья, но переложить на него всю ответственность за результат он не может, а должен делить её с государством;

– эффективность процесса управления обеспечивает наличие обратной связи с объектом, которая содержит элементы измерения результатов управления; измеряются субъективные оценки здоровья самим человеком, его знания, мотивации и ожидания, а также его оценки деятельности структур здравоохранения, партнером (а не только потребителем) которых этот человек является;

– управление требует знаний об объекте, а их можно получить только из наук о человеке (медицины, социологии, психологии и др.) и только путём усвоения знаний;

– воздействие на объект возможно только через конкретного индивида; способов воздействия три – перманентное обучение, дискретный скрининг и эпизодическое лечение.

Разрабатываемый в Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН подход направлен на создание *государственной модели управления здоровьем*, а созданные на его основе «Компьютерная технология и система ЭДИФАР» являются комплексом методологических и организационных мероприятий, а также технических средств по оперативному обнаружению (и мониторингу) изменений в здоровье населения на местах с целью адекватного управления и финансирования. Они могут применяться как для прогноза неблагоприятных социальных последствий, связанных со здоровьем, так и для повышения информированности населения в отношении факторов риска наследственного и экологического характера, а также связанных с образом жизни, с целью формирования самосохранительного поведения путем создания мотивированного желания к изменению привычек и на выков повседневной жизни.

ЛИТЕРАТУРА

1. Амосов Н.М. Раздумья о здоровье. – М.: Молодая гвардия, 1979.

2. Бедный М.С. Демографические факторы здоровья. – М.: Финансы и статистика, 1984.
3. Венедиктов Д.Д. Здравоохранение России: кризис и пути преодоления. – М.: Медицина, 1999.
4. Гельфанд И.М., Розенфельд Б.И., Шифрин М.А. Очерки о совместной работе математиков и врачей. – М.: Наука, 1989.
5. Гродин Ф. Теория регулирования и биологические системы. – М.: Мир, 1966.
6. Дартай Л.А., Захаров В.Н. Медико-социальные аспекты мониторинга здоровья населения // Проблемы социальной гигиены, здравоохранения и истории медицины. – 1999. – № 3. С. 10–14.
7. Дартай Л.А., Захаров В.Н., Белоконь О.В., Осиненко А.П. Пожилое население России и управление в сфере медико-социальной защиты // Успехи геронтологии. – 1998. – Вып. 2. – С. 126–132.
8. Дартай Л.А., Осиненко А.П., Семикин Г.И. Индивидуальные и популяционные аспекты безопасности, связанные с медико-социальным благополучием населения // Тр. 8-й междунар. конф. «Проблемы управления безопасностью сложных систем». Москва, 19 декабря 2000 г. С. 38–39.
9. Дартай Л.А., Семикин Г.И. Технология и система «ВАЛЕО-МГТУ» как основа valeологического сопровождения процесса обучения в техническом университете. Препринт. – М.: Ин-т проблем управления, 2001.
10. Дартай Л.А., Калинина А.М., Аарва П. Диалоговая компьютерная система «НР-EDI» для собеседования с населением по вопросам здоровья // Тр. конф. «Охрана и укрепление здоровья населения. Международный и отечественный опыт». Москва, 25 апреля 2001. С. 36–37.
11. Документ ВОЗ «Здоровье для всех к 2000 году – глобальная стратегия». (WHA34/5). 1981.
12. Задачи по достижению здоровья для всех. Политика здравоохранения для Европы // (Европ. спр. «Здоровье для всех»), ВОЗ. – 1993. – № 4.
13. Захаров В.Н., Дартай Л.А., Ефремов Л.И. Новые информационные технологии – методологическая основа исследования здоровья населения // Вестник Российской Академии наук. – 1995. – Т. 65. – № 1. – С. 17–23.
14. Здоровье-21: Основы политики достижения здоровья для всех в Европейском регионе. (Европ. сер. по достижению здоровья для всех), ВОЗ. – 1999. – №№ 5, 6.
15. Колбанов В.В. Valeология: основные понятия, термины и определения. – СПб.: ДЕАН, 2001.
16. Концепция охраны здоровья населения Российской Федерации на период до 2005 года // Российская газета. 13 сентября 2000 г. – С. 6.
17. Кричагин В.И. Перед выбором // Коммунист. – 1988. – № 7. – С. 54–62.
18. Лисицын Ю.П. Образ жизни и здоровье / В кн. «Руководство по социальной гигиене и организации здравоохранения». – М.: Медицина, 1987. – Т. 1. – Гл. 2.
19. Ноэль Э. Массовые опросы (введение в методику демоскопии). – М.: Прогресс, 1978.
20. Основы автоматического управления / Под ред. В.С. Пугачева. – М.: Наука, 1974.
21. Петровский А.М., Дартай Л.А., Машавили Р.Р. Применение системы ЭДИФАР для изучения здоровья населения при массовых профилактических обследованиях // Сб. тр. «Методы сбора и анализа сложноорганизованных данных». – М.: ИПУ РАН, 1991. – С. 86–95.
22. Петровский А.М., Дартай Л.А. Здоровье популяции и автоматизированный скрининг поведенческих и экологических факторов // Сб. тр. «Экология, медицина и радиоэлектроника». – М.: Радио и связь, 1991. – С. 35–54.
23. Потанина Ю.А., Дартай Л.А., Белоконь О.В. Компьютерная технология ЭДИФАР как средство сбора данных от населения (для разработки социальной политики на местах). – М.: Московский лицей, 1999.
24. Пригожин И. Введение в термодинамику необратимых процессов. – М.: Иностранная литература, 1960.
25. Руководство по применению компьютерной технологии «ЭДИФАР» для собеседования с населением в учреждениях первичной медицинской помощи (поликлиниках) / Сост. Л.А. Дартая. – М.: 24_Printservice, 2002.
26. Тополянский В.Д., Струковская М.В. Психосоматические расстройства. – М.: Медицина, 1986.
27. Тульчинский Т.Г., Варавикова Е.А. Новое общественное здравоохранение: введение в современную науку. – Иерусалим: Amutah for education and Health, 1999.
28. Флетчер Р., Флетчер С., Вагнер Э. Клиническая эпидемиология. Основы доказательной медицины. – М.: Медиа Сфера, 1998.
29. Щепин О.П., Мартынова Н.М., Коротких Р.В. и др. Предпосылки к разработке законодательства по охране здоровья граждан Российской Федерации: концептуальный подход / Бюллетень НИИ им. Н.А.Семашко РАМН (ротапринт), М., 1992. – Вып. 1. – С. 15–22.
30. Эльштейн Н.В. Общемедицинские проблемы терапевтической практики. – Таллинн: Валгус, 1983.

☎(095) 334-88-20

E-mail: Dartau@ipu.rssi.ru



УДК 561.2.011.56

ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ МЕДИАПЛАНИРОВАНИЯ В ИНФОРМАЦИОННОМ УПРАВЛЕНИИ

А.Н. Шубин, В.П. Пелихов

Описаны основные элементы методологии планирования информационного управления, позволяющие ставить и решать задачи оптимизации медиапланирования.

ВВЕДЕНИЕ

Существенную роль в управлении обществом играет информационное управление (ИУ), под которым понимается процесс выработки и реализации управленческих решений в ситуации, когда управляющее воздействие носит неявный характер и объекту управления представляется определяемая субъектом управления информационная картина, ориентируясь на которую этот объект как бы самостоятельно выбирает линию своего поведения [1, 2].

Медиапланирование – это планирование разработки концепции и сценария, выбор методов и средств реализации ИУ на основе социологических исследований, цель которых – анализ аудитории отдельных средств массовой информации (СМИ). Медиапланирование позволяет определить, как создать и наиболее эффективно передать требуемую информацию в нужное место и в нужное время.

Можно выделить следующие основные этапы осуществления ИУ:

- осознание и формулировка проблемы;
- анализ ситуации;
- формулировка цели, построение дерева целей, разработка программы реализации ИУ;
- сегментация аудитории, изучение и анализ характеристик сегментов целевой аудитории;
- разработка концепции, стратегии и сценария реализации ИУ;
- разработка планов действий, выбор методов и средств реализации ИУ;
- реализация;
- мониторинг и контроль, корректировка;
- анализ эффективности.

Основная особенность принятия и реализации информационных управленческих решений заключается в том, что это не единовременный акт, а совокупность взаимосвязанных действий и методов их реализации, распределенных на некотором временном интервале, по территории и по сегментам целевой аудитории. Большинство перечисленных этапов реализуются в рамках медиапланирования.

Объекты ИУ в рамках медиапланирования называют целевыми аудиториями, определяемыми как группы людей, на которые направлено информационное воздействие.

Анализ ситуации, формулировка проблемы, формулировка цели и построение дерева целей, разработка

концепции и выбор стратегии реализации цели представляют собой взаимосвязанные задачи и решаются практически одновременно. Первый и весьма важный этап в решении данной совокупности задач состоит в разработке концепции, т. е. документа, излагающего общее мнение о текущем состоянии процесса медиапланирования, его предыстории и прогнозы на будущее.

ЭЛЕМЕНТЫ МЕДИАПЛАНИРОВАНИЯ НА СТАДИИ КОМПЛЕКСНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Целевой подход при реализации ИУ предполагает первоочередное определение целей организации или планируемых результатов работы, формирование на этой основе множества решаемых задач по достижению результатов, а также измерение конкретных результатов по этапам достижения поставленных целей.

Эффективность ИУ полностью определяется качеством разработки концепций, стратегий, сценариев и программы их реализации. Основные составляющие этой деятельности определяются планом реализации всех основных аспектов и особенностей ИУ.

Назовем комплексным проектом P совокупность взаимосвязанных исследований и практических предложений и мероприятий, которые необходимы и достаточны для достижения цели проекта.

Цель V_p проекта состоит в подготовке информационных материалов, содержащих сведения о их разделах (темах), реализующих подцели ИУ. Разрабатываемая стратегия S ИУ имеет цель V_s , которая определяет ее назначение. Процесс медиапланирования на стадии комплексного проектирования состоит из этапов:

- построения дерева целей проекта;
- построения графа разработки проекта;
- определения количественных оценок;
- выбора коллективов исполнителей.

Деревом целей стратегии S будем считать согласованную и упорядоченную по уровням иерархии совокупность целей, подцелей и задач, необходимых и достаточных для достижения целей.

Найденные в результате построения дерева целей проекта темы информационных материалов должны быть положены в основу последующего формирования плана на основе графа разработки проекта. Для построения такого графа необходимо упорядочить темы в соответствии с завершенностью результатов их выполнения в пределах полного цикла. Построение графа $\Gamma = \Gamma(R, L)$ разработки проекта, где R – множество тем, L – множе-



ство взаимосвязей, основано на выявлении требований к передаче результатов выполнения тем. Под элементом $l_{gh} \in L$ понимается требование к передаче результатов r_g темы для выполнения темы r_h . Процесс построения графа (сетевой модели) разработки может быть упорядочен.

После нахождения тем, выполнение которых в дальнейшем обеспечит достижение целей проекта, возникает потребность выбора исполнителей тем, определения требующихся ресурсов и продолжительности разработки проекта. Решение этих вопросов невозможно без количественных оценок соответствующих показателей. В набор показателей, характеризующий распределение тем между исполнителями, должны входить:

- продолжительность выполнения темы;
- количество необходимых ресурсов (сотрудники, финансы, оборудование и т. д.), как имеющихся, так и требующихся дополнительно;
- важность темы;
- обобщенная заинтересованность коллектива исполнителей и руководства проектом в выполнении темы данным коллективом.

Показатель s_i важности темы r_i характеризует ценность ее результатов с точки зрения достижения цели проекта.

Предположим, что для каждой темы $r_i \in R$ определены потенциально возможные коллективы $\{k_1, k_{l+1}, \dots, k_p\}$ исполнителей. Для каждого потенциально возможного k_j исполнителя темы r_i известны: требующиеся ресурсы q_t^u , $u = \overline{1, w}$, w – число требующихся видов ресурсов; обобщенная заинтересованность d_{ij} .

При наличии количественных оценок данная задача может быть сформулирована как задача о назначении. Формально она может быть представлена в виде:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_i d_{ij} x_{ij} \rightarrow \max,$$

где $x_{ij} = (0, 1)$, при $x_{ij} = 1$ тему r_i выполняет коллектив k_j а при $x_{ij} = 0$ – нет; n – число тем проекта; m – число потенциально возможных коллективов исполнителей.

Задача решается, например, при ограничениях:

- на производительность для каждого коллектива исполнителей

$$\sum_{i=1}^n v_{ij}^h x_{ij} = v_i^h; \quad j = \overline{1, m}; \quad h = \overline{1, t},$$

где $h = 1, 2, \dots, t$ – отрезки времени, где производительность v_j^h (способность выполнения некоторого объема работ) коллектива k_j сохраняется постоянной; v_{ij}^h – объем работ, необходимый для выполнения темы r_i на h -ом отрезке коллективом k_j ;

- на логическую последовательность выполнения тем

$$\Gamma = \Gamma(R, L) : (r_q > r_t) = l_{qt}; \quad r_q, r_t \in R; \quad l_{qt} \in L$$

при условии полного распределения всех тем между коллективами исполнителей:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} = 1; \quad i = \overline{1, n}.$$

Таким образом, задача выбора коллективов исполнителей сводится к задаче математического программирования, которая может быть решена известными методами.

При разработке проекта ИУ постоянно уточняются требуемые ресурсы на проектирование и время окончания отдельных этапов разработки, определяется возможность выполнения работ при выделенных ресурсах, вырабатываются рекомендации по их изменению. Весьма важно применение формализованных методов планирования работ, обеспечивающих максимальный эффект реализации ИУ.

ПЛАНИРОВАНИЕ РЕАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Как уже отмечалось, план определяет направление деятельности по реализации программы и обеспечивает оптимальное размещение средств, выделенных на разработку и реализацию ИУ.

В основу плана должны входить:

- анализ ситуации;
- определение цели ИУ;
- разработка стратегии реализации ИУ;
- разработка программы реализации ИУ;
- выбор способов реализации ИУ;
- разработка методов мониторинга и оценки эффективности реализации ИУ.

Реализация ИУ включает в себя, как минимум, три специфических элемента:

- текстовую основу;
- художественное оформление;
- технические средства.

В рамках планирования требуется также разработать графики использования СМИ и других средств распространения информации, определить средства, необходимые для достижения поставленной цели и составить смету расходов, распределить эти средства среди исполнителей.

Одна из основных проблем заключается в определении затрат на разработку и реализацию ИУ, в рамках которого с учетом поставленных целей определяются методы и способы использования СМИ для достижения этих целей.

Средства ИУ выбираются во многом в зависимости от целей управления и характеристик целевой аудитории [2]. Очень большую роль играют ограничения на время подготовки и реализации ИУ. График реализации ИУ является завершающим этапом планирования использования СМИ и представляется обычно в табличном виде, где указаны типы СМИ, сроки и количество выходов, ответственные и т. д. Естественно, каждое из СМИ отличается своими собственными, только ему присущими возможностями и характеристиками в отношении отдельных общественных групп и целевых аудиторий.

Рассмотрим некоторые основные понятия, используемые при разработке планов ИУ, реализуемых посредством различных приемов ИУ. В частности, ограничимся теми понятиями, которые используются в планировании ИУ для его основного средства – телевидения (ТВ).

Качество конкретной k -й передачи (программы) ТВ, с точки зрения эффективности приемов ИУ, может быть охарактеризовано рядом показателей, основной из ко-



торых рейтинг $R_k(t)$, определяемый как процентное отношение количества телезрителей $O_k(t)$, смотрящих определенную k -ю передачу в момент времени t к потенциальной численности телезрителей $\bar{O}(t)$, т. е.

$$R_k(t) = O_k(t)/\bar{O}(t) \cdot 100\%.$$

Для характеристики аудитории, которая была объектом приемов ИУ, служит “охват аудитории” $A(n) = O^n/\bar{O} \cdot 100\%$ или $\bar{A}(n) = \bar{O}^n/\bar{O} \cdot 100\%$, где O^n и \bar{O}^n – число телезрителей, которые были объектом приемов ИУ, соответственно, n раз и не менее n раз.

При планировании кампании ИУ необходимо стремиться к наибольшему охвату аудитории и в то же время обеспечить необходимую среднюю частоту восприятия, так как воздействие приема ИУ становится эффективным после нескольких его реализаций.

Пусть G – суммарный рейтинг всех используемых приемов ИУ, тогда средняя частота восприятия $F = G/\bar{A}(1)$. Таким образом, F – это среднее число экспонирований (прямых воздействий) приема ИУ на произвольно выбранного представителя из той части аудитории, которую прием ИУ достиг хотя бы один раз. Следовательно, чем больше значение F , тем меньше охват аудитории $\bar{A}(1)$.

При разработке оптимальных планов реализации приемов ИУ посредством ТВ обычно стремятся к получению максимально возможного значения суммарного рейтинга G и соответственно максимального охвата аудитории (при заданном минимальном значении требуемой средней частоты восприятия F) в условиях ограниченных ресурсов.

Формализованной моделью задачи оптимального планирования ИУ является задача целочисленного математического программирования с булевыми переменными:

$X_{mk}^n = 1$, если в m -й передаче ТВ используется n -раз k -й прием ИУ;

$X_{mk}^n = 0$ в противном случае.

Пусть также:

C_{mk}^n – стоимость n раз использования k -го приема ИУ в m -й передаче ТВ;

R_m – рейтинг m -й передачи ТВ;

T_m^k – ограничение на суммарное время использования k -го приема ИУ в m -й передаче.

Необходимо получить максимальное значение суммарного рейтинга G :

$$G = \sum_m R_m \sum_k \sum_n n X_{mk}^n \rightarrow \max$$

при ограничениях:

на стоимость \bar{C} кампании ИУ

$$\sum_m \sum_k \sum_n C_{mk}^n X_{mk}^n \leq \bar{C};$$

на суммарное время T_m использования приемов ИУ в m -й передаче

$$\sum_k \sum_n T_{mk}^n X_{mk}^n \leq T_m;$$

на нижнюю границу f_k числа использования k -го приема ИУ;

$$\sum_m \sum_n X_{mk}^n \geq f_k;$$

а также на единственность выбора числа использования k -го приема ИУ

$$\sum_m \sum_n X_{mk}^n \leq 1.$$

В заключение отметим, что решение задач оптимизации медиапланирования в рамках программ информационного управления возможно на основе методов математического программирования.

ЛИТЕРАТУРА

- Кульба В.В. Об информационном управлении // Информатика и вычислительная техника. – 1996. – №№ 1–2. – С.21–25.
- Кульба В.В., Малюгин В.Д., Шубин А.Н. Информационное управление (предпосылки, методы и средства) // Проблемы управления. – 2003. – № 1. – С. 62–67.

☎ (095) 334-87-19

E-mail: shoubine@ipu.rssi.ru



ABSTRACTS

Dartau L.A.

THEORETICAL ASPECTS OF HEALTH CONTROL AND ITS IMPLEMENTATION POSSIBILITIES IN RUSSIAN FEDERATION

The problems of medico-social well-being of population are interpreted in terms of classical automatic control theory. The health is described as a complex-organized object of public administration. The paper shows that health education, risk factor detection and treatment are the control object impacts in a feed-forward path, while health monitoring – in a feedback path. According to the approach developed, the control system always has 2 controllers: human individual and the State. Therefore, the responsibility for the final result (individual's and population's health) should be split between these 2 control subjects.

Shubin A.N., Pelikhov V.P.

ON MEDIA PLANNING OPTIMIZATION PROBLEMS IN INFORMATION MANAGEMENT

The paper describes key elements of information management methodology, used for formulating and solving media planning optimization tasks in the context of information management programs.

УДК 330.341:316.4; 330.35:316.4

УВЕЛИЧЕНИЕ ПЛАТЕЖЕСПОСОБНОГО СПРОСА НАСЕЛЕНИЯ НА ТОВАРЫ ОТЕЧЕСТВЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВНУТРЕННИХ ПЛАТЕЖНЫХ СРЕДСТВ

И.В. Прангишвили, Ю.И. Островский

Рассмотрены зависимость между развитием экономики и платежеспособностью населения. Для увеличения платежеспособного спроса населения и защиты отечественного производителя от импорта предложено для частичной оплаты изготавливаемых в России товаров народного потребления ввести в обращение внутренние платежные средства, не подлежащие обмену на обычные рубли и иностранную валюту.

РАССЛОЕНИЕ РОССИЙСКОГО ОБЩЕСТВА

За годы реформ на едином экономическом пространстве образовались как бы две России, два ее образа, не похожие друг на друга. Первый образ – это богатая Россия, успешно выстраивающая общество благо-денствия, второй – бедная Россия со множеством социальных и экономических проблем. На долю первой России приходится примерно 15% населения, на долю второй – 85%. Первая Россия аккумулирует в своих руках 85% всех сбережений в банковской системе, 57% денежных доходов, 92% доходов от собственности и 96% расходов на покупку валюты. Вторая Россия располагает 8% доходов от собственности и 15% всех сбережений [1].

Уровень и образ жизни этих двух России несопоставимо разные. Состоятельные россияне покупают дорогие иностранные автомобили, дорогую импортную бытовую технику и одежду, строят коттеджи из иностранных материалов, вывозят капиталы за рубеж, покупают там роскошные виллы. В то же время подавляющее большинство населения еле сводит концы с концами, значительная часть россиян живет за чертой бедности.

ПОДДЕРЖКА МАЛООБЕСПЕЧЕННЫХ СЛОЕВ НАСЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ РЫНОЧНОЙ ЭКОНОМИКИ

В США широко распространены «продуктовые карты». Это пластиковые кредитные карты, которые безвозмездно выдаются органами социальной защиты малообеспеченным семьям. Продуктовые карты предназначены только для покупки продуктов питания, а также семян или растений для самостоятельного выращивания продуктов питания. Ими нельзя воспользоваться для покупки алкогольных напитков, табачных изделий, печатной продукции и т. п. Трудоспособные безработные граждане в возрасте от 18 до 50 лет могут раз в три года получить продуктовую карту на 3 мес. Продуктовая карта снабжена секретным паролем, поэтому человек, похитивший или нашедший карту, не сможет ею воспользоваться. Владельцу карты будет немедленно выдана новая карта взамен утерянной. Продажа продуктовых карт строго запрещена.

Швеция первой из европейских стран провозгласила в качестве основной задачи социально-экономического развития «построение общества всеобщего благоденствия». В отличие от США, где малообеспеченные семьи полностью обеспечиваются только продуктами питания, социал-демократическое правительство Швеции на протяжении ряда лет гарантировало каждому гражданину «достойный уровень жизни». Нигде не работающий швед не только полностью обеспечивался продуктами питания, но получал также субсидии для оплаты недорогого жилья и покупки одежды. Необходимые для этого средства государство получало путем взимания высоких налогов с богатых людей при покупке ими престижных товаров и предметов роскоши. Оказалось, однако, что значительная часть шведов не стремится работать, чтобы повысить свой уровень жизни относительно установленного государством минимума. Следствием явился экономический спад. Поэтому правительство было вынуждено сохранить в полном объеме гарантии «достойного уровня жизни» только для пенсионеров и нетрудоспособных по тем или иным причинам граждан.

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ РАЗВИТИЕМ ЭКОНОМИКИ И ПЛАТЕЖЕСПОСОБНОСТЬЮ НАСЕЛЕНИЯ

В России доля оплаты труда в структуре затрат на производство гораздо меньше, чем в индустриально развитых странах. Это является причиной низкой платежеспособности населения, затрудняющей развитие российской экономики.

Официальный валовой внутренний продукт (ВВП) России в настоящее время составляет около 10 трлн. руб. в год, а официальная годовая зарплата всех слоев населения – 1,5 трлн. руб., т. е. всего 15% от официального ВВП. В соответствии с оценками, основанными на комплексном анализе объемов продаж различных товаров и других факторов, фактический ВВП с учетом теневой экономики равен примерно 15 трлн. руб., а фактическая годовая зарплата с учетом теневых «конвертов» составляет около 4 трлн. руб., т. е. 26% от фактического ВВП. В то же время в индустриально развитых странах оплата труда составляет 50...60% ВВП. В СССР она составляла 50% ВВП [2]. Если по производительности труда мы от-



стаем от США в 5–6 раз, то по зарплате в – 15 и более раз. Наша зарплата является низкой не вообще, а недопустимо низкой по отношению к нашей же производительности труда [1].

Низкая оплата труда требует удержания заниженных цен (по отношению к ценам на сырье и энергоресурсы) на товары первой необходимости (продукты питания, жилье, энергию, транспорт и т. д.). В свою очередь, эти заниженные цены не могут экономически поддерживать соответствующие производства. Например, авиационный пассажирооборот в стране за последние 10 лет снизился со 140 млн. пассажиров в год до 24 млн. А раз авиации некого перевозить, то не нужны авиа заводы, не нужна авиационная наука. Производство самолетов упало со 125 в год до 4 [2].

В России самые низкие в мире цены на хлеб, коммунальные услуги и электроэнергию. Низкие цены на хлеб означают низкие цены на зерно. Мировая цена на зерно – 100 долл. США за тонну, а в России примерно 35 долл. При этом цены на горюче-смазочные материалы (ГСМ) почти достигли мирового уровня. Чтобы заплатить за тонну ГСМ, крестьянин должен продать до 6 т зерна – почти в 3 раза больше, чем американский фермер. Поэтому у крестьянина нищенская оплата труда, нет средств на покупку сельскохозяйственной техники и удобрений. В результате резко сократилось производство сельскохозяйственной техники, химические заводы, производящие удобрения, работают в основном на экспорт [2].

Аналогичная ситуация складывается в электроэнергетике. Оборудование электростанций изношено, отрасль нуждается в инвестициях. Многие генерирующие мощности недогружены, выработка электроэнергии может быть увеличена, но эта электроэнергия не покупается из-за отсутствия платежеспособного спроса. Стоимость электроэнергии в России – всего 2 цента за киловатт-час при мировой цене 7...8 центов. Наш тариф не покрывает затрат на производство электроэнергии, у энергетиков нет средств на обновление оборудования. В результате останавливается производство электрогенераторов, гидравлических, паровых и газовых турбин. Износ оборудования электростанций через несколько лет начнет приводить к авариям. Но инвестиций в энергетику не будет даже после полной приватизации, потому что никто не будет вкладывать капиталы, если потребители товара не в состоянии заплатить и двух центов за киловатт-час [2].

В настоящее время зарплата значительной части работников бюджетной сферы ниже официального прожиточного минимума. Выступая в Государственной Думе, М.М. Касьянов заявил, что если увеличить зарплату этих работников до уровня прожиточного минимума, то прилавки магазинов опустеют, т. е. премьер-министр фактически подтвердил, что экономика России находится в состоянии глубокого кризиса.

ВЫТЕСНЕНИЕ РОССИЙСКИХ ТОВАРОВ ИМПОРТНЫМИ

Подавляющее большинство населения значительную часть своей нищенской зарплаты использует для поддержки не отечественного, а зарубежного товаропроизводителя. Российский рынок заполнен низкокачественным, но дешевым китайским, вьетнамским и турецким ширпотребом. Благодаря высоким экспортным премиям, которые выплачивает правительство США, американские фермеры получают возможность продавать в России куриные окорочки по ценам ниже себестоимости. Демпинговые цены, по которым российские мясокомбинаты

покупают южноамериканскую свинину, ниже себестоимости производства свинины на лучших российских свиноводческих предприятиях. Когда отечественное свиноводство будет уничтожено, цены на импортную свинину немедленно увеличатся. Однако, в отличие от своих зарубежных партнеров, планирующих свою деятельность на достаточно длительную перспективу, российские мясокомбинаты интересует только сиюминутная прибыль. Когда они станут убыточными, их владельцы уедут за рубеж, чтобы использовать там заблаговременно вывезенные из России капиталы. Вступление в ВТО еще шире откроет российский рынок для импорта.

Таким образом, в сложившейся ситуации увеличение зарплаты конвертируемыми в иностранную валюту рублями не обеспечит адекватное развитие реального сектора российской экономики.

ВНУТРЕННИЕ ПЛАТЕЖНЫЕ СРЕДСТВА

Один из признанных идеологов свободного рынка, лауреат Нобелевской премии Ф. Хайек считает [3], что центральный эмиссионный банк всегда подвержен давлению узких групп, интересы которых могут существенно отличаться от интересов основной массы населения страны. Исходя из этого, Хайек утверждает, что государственная монополия в области эмиссии денег вредна для общества и должна быть заменена свободной конкуренцией независимых корпораций, выпускающих собственные «частные деньги» и объявляющие обменный курс своих денег к общегосударственной денежной единице. При этом должны устанавливаться строгие товарные эквиваленты частных денег и их материальное обеспечение продукцией входящих в корпорацию предприятий.

Следует, однако, учитывать, что объективное определение материального обеспечения и соответствующих обменных курсов различных валют на территории страны сопряжено с огромными трудностями и неизбежно приведет к злоупотреблениям.

В Китае, где переход от административно-командной системы к рыночной экономике осуществлялся под контролем государства, до конца 1993 г. обращение иностранной валюты в пределах КНР было запрещено. Находящиеся на территории страны предприятия и организации могли использовать иностранную валюту только под контролем государства. Однако наряду с внутренним платежным средством – юанем, который не мог обмениваться на иностранную валюту, с 1980 до 1996 г. существовали «валютные юани», которые использовались, в основном иностранцами, для приобретения импортных товаров в специализированных магазинах и могли обмениваться на иностранную валюту и на обычные юани. Государственная политика, предусматривающая жесткий контроль за импортом, обеспечила быстрое развитие реального сектора национальной экономики. Когда качество продукции основной части китайских предприятий вышло на мировой уровень, надобность в контроле за импортом отпала, и в 1996 г. валютные юани были изъяты из обращения.

В современных условиях России непосредственно воспользоваться китайским опытом невозможно, однако одновременное наличие двух платежных средств позволит решить задачи:

- увеличения платежеспособности основной массы населения России;
- обеспечения защиты отечественного производителя от импортных товаров;
- обеспечения соблюдения интересов состоятельной части населения, которой требуются платежные

средства, свободно конвертируемые в иностранную валюту.

Для решения двух первых задач предлагается для частичной оплаты стоимости производимых в России продовольственных и промышленных товаров народного потребления использовать внутренние платежные средства, не подлежащие обмену на обычные рубли и иностранную валюту. Внутренние платежные средства (далее «внутренние рубли») могут быть реализованы в виде банковских пластиковых карт. Внутренние рубли должны облагаться налогами по таким же ставкам, как и обычные рубли.

Соблюдение интересов состоятельной части населения обеспечивается путем сохранения обычных рублей в качестве основного платежного средства.

Оплата части стоимости товара обычными рублями должна обеспечивать:

- оплату импортируемых ресурсов производства;
- получение основной части прибыли;
- выплату части зарплаты;
- частичную оплату налогов.

Часть прибыли, полученная внутренними рублями, будет использоваться для приобретения изготовленного в России оборудования. Основная часть прибыли, полученная в обычных рублях, будет использоваться владельцами предприятий по своему усмотрению.

Чтобы исключить возможность инфляции, вводимые в обращение внутренние рубли должны обеспечиваться соответствующим увеличением объемов производства пользующейся массовым спросом населения продукции. В настоящее время большинство населения основную часть своих доходов тратит на приобретение продуктов питания. К числу продуктов питания, объем производства которых может быть быстро увеличен на базе существующих производственных мощностей, относится, прежде всего, мясо бройлеров. Достаточно быстро можно увеличить производство куриных яиц, свинины, молока и молочных продуктов. Поэтому на начальном этапе для товарного обеспечения эмитируемых внутренних рублей предлагается соответственно увеличить объемы производства этих продуктов. Значительные резервы неиспользуемых производственных мощностей имеются и в других отраслях, производящих продукты питания и промышленные товары народного потребления.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВНУТРЕННИХ ПЛАТЕЖНЫХ СРЕДСТВ

Внутренние рубли должны вводиться в обращение в качестве добавок к пенсиям, пособиям по безработице, пособиям на детей, зарплате работников бюджетной сферы и военнослужащих, а также для предоставления государственных кредитов частным предприятиям для пополнения их оборотных средств и частичной оплаты государственных заказов.

Кредиты, предоставляемые для пополнения оборотных средств предприятий, должны включать в себя как внутренние, так и обычные рубли. Обычные рубли должны обеспечивать:

- оплату импортируемых ресурсов как кредитуемым предприятием, так и всеми предприятиями, которые входят в технологические цепочки производства ресурсов кредитуемого предприятия;
- получение этими предприятиями основной части прибыли;
- частичную оплату налогов этими предприятиями;
- выплату части зарплаты работникам этих предприятий.

Предоставлению государственных кредитов для пополнения оборотных средств должны предшествовать

разработка плана социально-экономического развития региона с целью обеспечения эмитируемых внутренних рублей соответствующим увеличением производства пользующихся спросом товаров народного потребления, а также разработка бизнес-планов кредитуемых предприятий, в которых должно предусматриваться определение сроков возврата кредитов.

На начальных этапах внедрения пенсионеры и работники бюджетной сферы могут использовать внутренние рубли только для частичной оплаты мяса бройлеров. Работники производственных предприятий смогут частично оплачивать внутренними рублями достаточно широкий ассортимент товаров народного потребления – как продукты питания, так и непродовольственные товары, объем производства которых может быть увеличен путем более полного использования имеющихся производственных мощностей. Часть зарплаты работников производственных предприятий должна будет выплачиваться внутренними рублями, однако работник должен получать внутренними рублями значительную добавку к зарплате, поэтому при частичной оплате товара внутренними рублями цена товара будет выше, чем при полной оплате обычными рублями. Зарплата составляет в России небольшую часть стоимости товаров, поэтому значительное увеличение зарплаты приведет лишь к относительно небольшому увеличению цен, а покупательная способность работников увеличится.

Внутренними рублями население будет оплачивать часть стоимости товаров в специально выделенных магазинах. В ценниках на каждый товар должны указываться:

- цена единицы товара в обычных рублях;
- количество внутренних рублей и количество обычных рублей, которыми должна оплачиваться единица товара при использовании внутренних рублей.

Один из этих двух способов оплаты товара будет выбираться покупателем.

Производственные предприятия, получившие внутренние рубли, используют их для частичной оплаты изготавливаемых в России ресурсов производства, для замещения части основной зарплаты своих работников и для выплаты добавок к основной зарплате.

Обращение внутренних рублей позволит увеличить как зарплату и пенсии, так и цены товаров народного потребления таким образом, что увеличится реальная покупательная способность населения и появится возможность интенсивного развития реального сектора экономики. На них нельзя будет приобретать импортные товары, поэтому повысится конкурентоспособность российских товаров по отношению к импортным. Развитие промышленности и сельского хозяйства уменьшит зависимость российской экономики от мировых цен на нефть.

Одновременное наличие двух платежных средств обеспечит соблюдение интересов двух полярных групп современного российского общества. Богатые люди будут приобретать импортные товары на обычные рубли, а благосостояние основной части населения будет обеспечиваться внутренними рублями. В настоящее время в России практически отсутствует «средний класс», который является основой общества в индустриально развитых странах. Внутренние рубли обеспечат развитие реального сектора экономики и, таким образом, создадут необходимые условия для создания среднего класса.

Когда экономика России выйдет из состояния стагнации, внутренние рубли должны быть изъяты из обращения.

Введение в обращение внутренних рублей потребует предварительных экономико-математических исследований с целью разработки региональных планов соци-



ально-экономического развития. Эти планы должны включать в себя рекомендуемый перечень предприятий, которые могут пользоваться внутренними рублями, рекомендуемую систему оплаты труда работников этих предприятий, рекомендуемые соотношения внутренних и обычных рублей в цене товаров, а также льготы, предоставляемые следующим этим рекомендациям предприятиям. Решение об участии в реализации плана социально-экономического развития, предусматривающего обращение внутренних рублей, должно приниматься каждым предприятием самостоятельно.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ВНЕДРЕНИЕ ВНУТРЕННИХ ПЛАТЕЖНЫХ СРЕДСТВ В ОТДЕЛЬНОМ РЕГИОНЕ

Массовому внедрению внутренних рублей должен предшествовать экономический эксперимент в относительно небольшом, но самодостаточном регионе. Сельское хозяйство региона должно полностью обеспечивать производство продуктов питания для населения региона, а также кормов для скота и птицы. В регионе должны быть развиты пищевая промышленность, легкая промышленность, производство других непродовольственных товаров народного потребления и оборонная промышленность.

Наличие оборонной промышленности позволит использовать для государственного заказа внутренние рубли, поступающие в федеральный бюджет в виде налогов.

Для проведения такого эксперимента необходимо соответствующее решение Правительства РФ.

ВЫПЛАТА ДОБАВОК ВНУТРЕННИМИ РУБЛЯМИ НА НАЧАЛЬНОМ ЭТАПЕ ВНЕДРЕНИЯ

При выплате добавки внутренними рублями работникам производственных предприятий часть их обычной зарплаты будет заменяться внутренними рублями. При этом покупательная способность работников, приобретающих изготовленные в регионе товары, будет увеличиваться, однако работникам, предпочитающим импортные товары, внутренние рубли не потребуются или потребуются в меньшем объеме. Поэтому необходимо определенное время, чтобы работники привыкли к внутренним рублям и каждый из них определил свою потребность в этой новой валюте. Решение о получении зарплаты частично внутренними рублями или полностью обычными рублями должно приниматься каждым работником самостоятельно.

На начальном этапе внедрения внутренние рубли должны предоставляться только ограниченной группе наименее обеспеченных работников бюджетной сферы или пенсионеров. План первоначального увеличения, например, производства бройлеров должен предусматривать получение внутренних рублей лишь небольшой частью работников птицефабрики. При выплате зарплаты работники птицефабрики должны получить исчерпываю-

щую информацию о продуктах питания и непродовольственных товарах, которые можно купить с использованием внутренних рублей, с указанием количества внутренних и обычных рублей в стоимости единицы каждого товара, а также информацию о местах продажи этих товаров и о процедуре оплаты посредством соответствующей банковской пластиковой карты. Желающие смогут купить такую карту, оплатив ее обычными рублями из получаемой зарплаты. Если потребность во внутренних рублях превысит имеющийся лимит, то их количество может быть уменьшено на каждой пластиковой карте.

ОБЪЕМ ЭМИССИИ ВНУТРЕННИХ РУБЛЕЙ И РЕГИОНАЛЬНАЯ ПЛАТЕЖНАЯ СИСТЕМА

Внутренние рубли, поступающие в виде налогов в бюджет региона, первоначально направляются только на выплаты добавок выбранной группе работников бюджетной сферы или пенсионеров, замещая таким образом эмиссию. Когда объем внутренних рублей, поступающих в бюджет региона, достигнет уровня, необходимого для этих выплат, эмиссия внутренних рублей должна быть приостановлена.

В процессе внедрения внутренних рублей должна накапливаться и обрабатываться статистическая информация об их использовании группами городского и сельского населения с различными уровнями доходов. Для этого следует создать автоматизированную региональную платежную систему на базе платежной системы Сбербанка РФ, которая будет обеспечивать и контроль товарных и денежных потоков. Когда объем накопленной информации позволит достаточно надежно прогнозировать развитие платежеспособного спроса населения на различные виды товаров при увеличении массы находящихся в обращении внутренних рублей, количество пенсионеров и работников бюджетной сферы, получающих добавки внутренними рублями, должно быть увеличено при соответствующей дополнительной эмиссии внутренних рублей. При этом должно обеспечиваться увеличение объемов производства пользующихся спросом товаров, опережающее эту эмиссию.

Региональная платежная система будет также контролировать базу налогообложения и расчеты между предприятиями в обычных и внутренних рублях.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Деньги – вперед. Беседа с академиком РАН Д.С. Львовым* // Новая газета. – 2003. – № 10.
2. *Нигматулин Р. Где искать новый курс России?* // Наш современник. – 2003. – № 1.
3. *Хайек Ф. Частные деньги.* М.: Институт национальной модели экономики, 1996.

☎ (095) 591-80-68

E-mail: ostrow@ipu.rssi.ru

ABSTRACT

Pranghishvili I.V., Ostrovsky Yu.I.

IMPROVING POPULATION'S EFFECTIVE DEMAND FOR DOMESTICS BY USING INTERNAL MEANS OF PAYMENT

The relationship between economy development and population's paying capacity as well as the ousting of domestic products by the foreign ones are discussed. For improving population's effective demand and protecting domestic manufacturers, it's proposed to apply internal media of exchange for partial payment for domestic merchandise. Such means of payment should not be exchanged for domestic or foreign currency and can be implemented in the form of microprocessor bank cards.

ВТОРАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПО ПРОБЛЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ

Институт проблем управления имени В.А. Трапезникова РАН при спонсорском участии концерна «Союз» и Международной гуманитарной миссии «Пушкин-институт» организовал и провел с 17 по 19 июня 2003 г. Вторую международную конференцию по проблемам управления — МКПУИ¹.

Программный комитет конференции, в который входили ведущие ученые-специалисты по теории управления из 20 стран мира, возглавляемый директором Института академиком ГрАН И.В. Прангисвили, отобрал для участия в МКПУИ девять пленарных и 318 секционных докладов, авторы которых представляли такие страны, как Австралия, Азербайджан, Беларусь, Грузия, Израиль, Казахстан, Киргизия, Китай, Молдова, Россия, США, Украина, Франция, Швеция.

Перед МКПУИ были поставлены следующие задачи:

- предоставить возможность участникам конференции в свободной форме, в том числе и в процессе дискуссий, обсудить современное состояние науки об управлении;
- выявить основные тенденции и связи между различными направлениями науки об управлении;
- определить в процессе дискуссий наиболее перспективные направления теории управления;
- обсудить задачи, которые ставят перед теорией управления современная практика.

Работа конференции открылась пленарным заседанием, на котором выступили члены попечительского совета одного из спонсоров — «Пушкин-института» — академик РАН П.Б. Николаев и известный российский поэт Е.А. Евтушенко. Касаясь проблем, связанных с управлением страной в переживаемый Россией исторический период, П.Б. Николаев и Е.А. Евтушенко, каждый по-своему, обратили внимание собравшихся на важность для России нравственного начала в управлении, на значимость исторических аналогий при принятии политических решений, на роль и значение точного и адекватного подбора слов для описания процессов управления — на роль языка. Созданный осенью 2002 г. «Пушкин-институт» взял на себя миссию пропаганды по всему миру русского языка и культуры, включив в сферу своего попечительства и российскую науку. Выступавшая вслед за ними Н.Н. Кузнецова — издатель научно-технических журналов «Датчики и системы» (создан в 1999 г.) и «Проблемы управления» (создан в 2003 г., к началу конференции в свет вышел первый номер журнала) рассказала собравшимся о выпускаемых ею изданиях. Журнал «Проблемы управления» адресован широкому кругу специалистов и ученых, работа и

интересы которых связаны с вопросами управления в технических, организационных, социально-экономических и медико-биологических системах.

Затем слово для пленарного доклада на тему «Закономерность энтропизации общества, фундаментальных научных знаний и проблемы управления» было предоставлено академику И.В. Прангисвили. В своем докладе автор отметил, что целью научно-технического прогресса и инновационного развития является *антиэнтропийное* или *негэнтропийное развитие природы и общества*. При этом человек, как объект процесса управления, не способен совершить ни единого управленческого акта вопреки действующим в природе и обществе системным законам и закономерностям. Системная закономерность *энтропизации* или обесценивания науки приводит к тому, что прирост истинно новых научных знаний составляет все меньшую и меньшую величину на затрачиваемую единицу средств. В качестве примера И.В. Прангисвили привел результаты американского ученого Д. Прайса, который показал, что расходы на науку растут пропорционально квадрату от общего числа научных работников или в четвертой степени от числа ведущих ученых. Автором было отмечено, что нередко вместо *истинно новых научных знаний* мы обзаводимся знаниями описательного характера, знаниями чисто технической природы или даже ложными знаниями. Именно энтропийный подход позволяет осознать тот факт, что всегда существует *противоречие* между развитием общества и генерируемым им беспорядком, а отклонения от энтропийного равновесия, или *энтропийные колебания*, приводят к различным общественным конфликтам: войнам, терроризму, экологическим и экономическим катаклизмам. Для уменьшения вероятности возникновения энтропийных колебаний необходимо организовать рациональное управление общественным развитием, основанное на *информационном опережении, принудительном отчуждении и обобществлении информации*.

Директор Института системного анализа РАН чл.-корр. РАН Ю.С. Попков выступил с пленарным докладом «Макросистемы и GRID-технологии: моделирование динамических стохастических систем», в котором он отметил, что несмотря на то, что существующее состояние всемирной паутины (Internet) и ее развитие в ближайшей перспективе (GRID) хотя и предоставляют пользователю широкие возможности доступа к мировым информационным и вычислительным ресурсам, но порождают целый ряд проблем системного характера. В докладе GRID рассматривается как динамическая стохастическая сеть, состоящая которой характеризуется пространственными распределениями информационно-вычислительных ресурсов и информационных потоков. Изменение во времени этих компонентов состояния происходит с существенно различными временами релакса-

¹ Первая международная конференция по проблемам управления была посвящена 60-летию Института проблем управления и проходила в 1999 г.



ции. Эта особенность сети позволяет адаптировать и развивать идеи макросистемного подхода для исследования пространственно-временной эволюции состояния GRID. Предложены модели локально-стационарных состояний сети, базирующиеся на обобщенном принципе максимизации энтропии. Они входят в качестве составной части в модель эволюции информационно-вычислительных ресурсов, которая относится к классу позитивных динамических систем с энтропийным оператором.

Первый рабочий день конференции завершился круглым столом на тему «Нужна ли теория управления крупным руководителям (политическим, хозяйственным, социальным)?». Дискуссию вел д-р техн. наук, проф., академик РАН *В.Н. Бурков*.

Ведущий предложил собравшимся «добраться до истины» и сформировать коллективную позицию по поводу ответа на предложенный вниманию собравшихся вопрос: нужна теория управления или не нужна?

Л.Г. Малиновский (ИППИ РАН) обратил внимание собравшихся на то, что при решении проблем управления в социально-экономической и политической сферах ключевую роль играет идеология, а именно идеология нашего общества еще не сформирована. С точки зрения выступавшего экономический и политический либерализм России не подходят.

А.И. Орлов (МГТУ им. Н.Э. Баумана) рассказал о практике преподавания эконометрических дисциплин и менеджмента в современной вузовской практике и дал позитивную оценку потребности в них со стороны нынешних и будущих руководителей. Возражая А.И. Орлову, В.Н. Бурков отметил, что менеджмент нельзя считать наукой об управлении, скорее это всего лишь сводка исторически сложившихся рекомендаций, правил и навыков по поводу того, как следует управлять.

Ф.Т. Алекскеров (ИПУ РАН) заявил, что «есть такая теория управления, которая необходима и востребована современными крупными руководителями» — это теория принятия политических решений. При этом он обратил внимание собравшихся на то, что в современной вузовской практике по эконометрическим и политологическим дисциплинам основной профессорско-преподавательский контингент представлен бывшими преподавателями истории КПСС и политэкономии, которые хорошо знакомы только с трудами К. Маркса и В.И. Ленина, но почти не знают или даже не слышали таких имен, как Кондорсе или Барнс. Ф.Т. Алекскеров подчеркнул, что в стране имеется только три вуза, в которых нормально, по-современному преподают экономическую теорию (в дальнейшей дискуссии это число было несколько увеличено).

И.Н. Воронцов (ИПУ РАН) отметил, что в данном случае речь идет об управлении процессами, модели которых обладают наивысшей сложностью. Для подобных моделей стандартный, регулярный багаж рекомендаций теории управления не работает. Он подчеркнул, что содержание деятельности крупных руководителей до сих пор не подвергалось систематическому исследованию, в результате еще не сложилась истинная культура проведения подобных исследований. Таким образом, с точки зрения И.Н. Воронцова, мозаичность культуры и отсутствие целостной картины восприятия мира социальных, экономических и политических решений являются ос-

новными препятствиями на пути положительного ответа на вопрос «нужна ли теория?».

О.П. Кузнецов (ИПУ РАН) начал с того, что выделил два основных компонента науки об управлении — концептуальный и вычислительный. Кроме того, он подчеркнул, что следует различать, как минимум, два типа руководителей: руководители конкретными работами (проекты, стройки) и руководители с гораздо более общим ареалом деятельности (мэры городов и т. п.). И если руководители первого типа должны профессионально владеть вычислительным компонентом науки управления, то для руководителей второго типа достаточно компетентности в области концептуальных аспектовправленческой науки.

В.Я. Ромач (МЭИ) поставил перед собравшимися вопрос, а не устарели ли представления, сформулированные творцом кибернетики Н. Винером, сохраняют ли они свою актуальность применительно в рассматриваемой тематике? Отвечая на этот вопрос, *И.Н. Воронцов* не усмотрел какой-либо необходимости в «ревизии» винеровских постулатов, но обратил внимание на то, что мы еще крайне неудовлетворительно умеем описывать или рассказывать о процессах управления в социально-экономической и политической сферах. При этом он сослался на книгу Дж. Сороса «Управление глобальным капитализмом», подчеркнув, что если с экономикой ученые-управленцы научились хоть как-то справляться, то в области политических решений ситуация с теорией обстоит из рук вон плохо.

А.С. Мандель (ИПУ РАН) обратил внимание собравшихся на две характерные особенности участия теоретиков от управления в решении больших прикладных социально-экономических проблем. В первом случае ученых приглашают для того, чтобы выслушать их мнение. Затем им говорят: «Спасибо, до свиданья», — а впоследствии оказывается, что принятые руководителями решения ни в малейшей степени не связаны с рекомендациями науки. Во втором случае руководители приглашают научных работников только для того, чтобы они «научно» обосновали уже подготовленное в аппарате решение. В связи с последним замечанием В.Н. Бурков назвал науку в целом «еще одной древнейшей профессией».

Выступивший вслед за этим *В.А. Зубаков* (Санкт-Петербург) подчеркнул, что проведение круглых столов является основной задачей и главным достоинством научных конференций, поскольку именно в подобном обмене мнениями рождается новое качество, совершенствуется и развивается наука.

Завершая работу круглого стола, *В.Н. Бурков* отметил, что дискуссия доказала необходимость дальнейшей кропотливой работой над языком, на котором могут быть formalizованы процессы управления в политической и социально-экономической сферах. Необходимо также дальнейшее совершенствование вузовского преподавания. Кроме того, специалистам в области управления предстоит большая и сложная работа по расширению сферы собственной деятельности и, прежде всего, на пути взаимного знакомства с достижениями коллег.

Пленарное заседание второго дня конференции открылось докладом академика РАН директора ИППИ РАН *Н.А. Кузнецова* «Сетевые структуры обработки информации и управления». Вниманию слушателей был

представлен краткий обзор сетевых структур управления для регуляторов технических систем, замкнутых систем цифрового регулирования, информационно-цифровых систем управления производственными процессами и систем организационного управления.

В следующем пленарном докладе, который был посвящен 90-летию со дня рождения М.А. Айзermana, профессор Ф.Т. Алекскеров представил обзор работ М.А. Айзermana в теории выбора, которой он занимался, начиная с 1974 г. и до самых последних дней своей жизни. Автор доклада разбил работы М.А. Айзermana на две группы – работы по индивидуальному и коллективному выбору. Прежде чем перейти к изложению полученных М.А. Айзermanом результатов, Ф.Т. Алекскеров представил те фундаментальные принципы, которые составляют основу теории выбора, особенно ее классической «до-айзermanовской» части. Эти принципы называются парадигмой рационального выбора. В теории индивидуального выбора основным достижением М.А. Айзermana стало сформулированное им предложение использовать функции выбора в качестве основного средства описания выбора, не ограничиваясь только лишь функциями, которые порождаются максимизацией некоторой функции полезности. В теории коллективного выбора М.А. Айзermanu принадлежит общая постановка задачи аксиоматического синтеза процедур голосования и так называемые реляционные и функциональные правила голосования.

Пленарное заседание завершил доклад В.М. Вишневского «Оптимизация технологической структуры проводных и беспроводных корпоративных компьютерных сетей», в котором был представлен обзор современных методов построения корпоративных компьютерных сетей. Доклад иллюстрировался многочисленными примерами и включал в себя оценки перспектив развития.

Второй день работы конференции завершился необычным круглым столом, представлявшим собой «семинар-концерт», организованный одним из спонсоров конференции – «Пушкин-институтом». Семинар был назван «Число как образ и образ как число». На семинаре выступили д-р физ.-мат. наук, профессор А.А. Зенкин с докладом «Число – образ – мысль», искусствовед В.В. Пацюков с докладом «Парадигмы науки XX века в эволюции художественной мысли», художник А.Ф. Панкин «Бесконечные числовые ряды и их образная визуализация», искусствовед Н.А. Колодзей «Число как образ внеэстетического феномена в художественных институциях». В качестве иллюстрации к семинару работали художественные выставки Михаила Молочникова «Супрематический орнамент» и Александра Панкина «Числовая геометрия и ее образы в современной визуальной культуре». Выступления участников семинара сопровождались и перемежались музыкальными номерами. Несмотря на то, что высказанная на семинаре точка зрения о непосредственной роли искусства в развитии точных наук (она была проиллюстрирована полотном художника А. Панкина, которое «доказывало» новую, ранее неизвестную теорему теории чисел) представлялась достаточно спорной, реакция некоторых участников конференции оказалась чрезвычайно острой. Мнения по поводу услышанного разошлись – от полного неприятия до неподдельного интереса.

Одно из пленарных заседаний МКПУП открылось минутой молчания в память об ушедших из жизни за последний год членах Программного комитета конференции: Н.А. Бобылеве, О.И. Ларичеве, Е.С. Пятницком и А.А. Красовском. Именно академик Александр Аркадьевич Красовский должен был 19 июня 2000 г. выступать первым с докладом «Закон сохранения и превращения общей энтропии и управление», который был опубликован в сборнике пленарных докладов. В последней прижизненной публикации А.А. Красовского речь шла о том, что единственным средством предотвращения увеличения общей энтропии (нарастания хаоса) является оптимальное или рациональное управление. Под рациональным и оптимальным управлением понимаются целенаправленные действия, проводимые в интересах большинства динамических объектов управления. В социально-экономической сфере такими «объектами» являются люди. Автор полагал, что изменение общей информационной энтропии является фундаментальным законом живой природы и цивилизованного общества. Как и другие фундаментальные законы, он не доказывается, а открывается. Обычно такие законы получают признание после накопления эмпирических (экспериментальных) данных. В далеком прошлом для этого требовались столетия и тысячелетия. В настоящее время имеется огромное число исторически достоверных данных и даже оправдавших себя теорий в области естественных, технических и даже общественных наук, позволяющих ускорить признание рассматриваемого закона.

В последний день работы МКПУП на пленарном заседании был доклад академиков НАН Республики Беларусь Ф.М. Кириловой и Р. Габасова (Институт математики НАН Республики Беларусь), посвященный рассказу о последних результатах белорусских ученых в области оптимального управления (ОУ) в режиме реального времени. Анализ ситуации с проблемой синтеза оптимальных систем, проведенный авторами в конце 1980-х гг., показал, что неудачи с решением проблемы лежат в самой ее постановке. Проблема, как отмечалось выше, возникла в те годы, когда вычислительная техника делала только первые шаги. При постановке проблемы оптимального синтеза инженеры в соответствии с традициями классической теории регулирования надеялись строить оптимальные обратные связи до начала процесса управления. Такой подход к синтезу оптимальных систем присущ и динамическому программированию. Пятидесятилетняя история развития теории ОУ показывает, что в нетривиальных случаях классические методы решения проблемы синтеза ОУ типа обратной связи реализовать невозможно.

Идея подхода авторов к решению проблемы построения оптимальных обратных связей состоит в том, чтобы не строить их заранее, а вычислять значения оптимальных обратных связей по ходу каждого конкретного процесса управления, т. е. управлять процессом оптимально в режиме реального времени. Реализация идеи упирается в создание методов вычисления текущих значений оптимальных обратных связей в режиме реального времени. Вскоре удалось обнаружить, что с помощью известных методов теории ОУ с такой работой для нетривиальных задач не справляются самые мощные ЭВМ.



В начале 1990-х гг. авторам удалось осуществить первое серьезное продвижение. В дальнейшем были предложены и другие методы. Оказалось, что при оптимальном управлении в режиме реального времени решающую роль играют двойственные методы, адекватно учитывавшие динамическую природу задач, возникающих в процессе управления. Представленный на МКПУП пленарный доклад содержал краткое описание основных результатов, полученных по проблеме ОУ в режиме реального времени.

Затем слово было предоставлено д-ру техн. наук, профессору Э.А. Трахтенгерцу (ИПУ РАН) для доклада «Анализ возможностей и методов построения компьютерных систем поддержки принятия управленческих решений (СППР)». В настоящее время общая математическая теория или хотя бы единая математическая модель, которая могла бы лечь в основу создания компьютерных систем поддержки принятия решений, еще не разработаны. При реализации представленных в докладе отдельных этапов построения СППР приходится использовать разнородный математический аппарат. Более того, автором показано, что для одного и того же этапа, например, анализа ситуации, в различных СППР используются разные алгоритмы. В результате пришлось ограничиться анализом общей идеологии построения компьютерных систем поддержки принятия управленческих решений, анализом их возможностей и краткими характеристиками некоторых математических моделей, которые могут быть использованы на каждом этапе работы СППР.

Завершал последнее пленарное заседание доклад д-ра техн. наук, профессора Ю.П. Портнова-Соколова (ИПУ РАН) «Управление риском – приоритетная дисциплина теории управления XXI века». В мире постоянно ожидаемых техногенных катастроф подобное управление минимизирует опасность для жизни человека. В качестве примера особо опасного объекта Ю.П. Портнов-Соколов рассмотрел ракету-носитель на жидком топливе и дал краткую характеристику методологии управления риском для объектов подобного класса.

Круглый стол третьего дня конференции был посвящен теме «Компьютерно-информационные сети: оправдались ли ожидания?». Вел дискуссию профессор В.М. Вишневский (ИППИ РАН), который в своем вступительном слове представил яркую картину последних лет, нынешнего состояния и ближайших перспектив развития подобных сетей. Из сказанного очевидным образом вытекало, что ожидания не только оправдались, но и оказались существенно превзойденными. Правда, при этом ведущий отметил, что упомянутые в названии дискуссии «ожидания» никак не конкретизированы, поэтому имеет смысл отдельно обсудить, о каких ожиданиях идет речь. Для установления системы отсчета были приведены такие цифры: в начальный период создания компьютерно-информационных сетей скорость передачи данных составляла 4 Кб/с, затем она стала равна 8 Кб/с, 16, 32, 64, а сегодня в порядке вещей скорость передачи данных 2 Мб/с, что попросту стало нормой. Благодаря современным сетям, а также легализации процедур электронной подписи, удалось существенно сократить бумажный оборот. При этом с фантастической скоростью меняется сама технология компью-

терно-информационных сетей. Растет быстродействие, появляются все более мощные узлы связи. Завершая свое вступительное слово, В.М. Вишневский подчеркнул, что сбылись ожидания разработчиков и пользователей сетей.

С этим согласился и следующий выступавший Ю.С. Затуливетер (ИПУ РАН). Однако он обратил внимание собравшихся на тот факт, что такая глобальная сеть, как Internet, включающая в свой состав многие миллионы мощнейших универсальных компьютеров, по сути дела, не задействована. По его мнению, оправдались только самые очевидные ожидания, а новые ожидания, связанные с большими вычислительными сетями, еще только предстоит осмыслить. Наличие глобальных мировых сетей нисколько не отразилось на расширении возможностей процедур свободно программируемой, регулярной обработки данных. При этом многие глобальные задачи обработки данных являются, по существу, задачами управления, но вразумительные постановки управленческих проблем такого масштаба до сих пор отсутствуют (не говоря уж о методах их решения). Ю.С. Затуливетер предложил вниманию собравшихся график изменения индекса NASDAQ за последние 8 лет, который продемонстрировал наличие резкого максимума в районе 1998–1999 гг. Если оценивать ситуацию в области высоких технологий по данному индексу, то окажется, что в 2003 г. мир находится на уровне 1995 г. В заключение Ю.С. Затуливетер подчеркнул, что по мере развития и глобализации информационно-вычислительных сетей все чаще проявляет себя «проклятье размерности», и никакой панацеи от этой неприятности пока не предложено.

Затем слово взял Е.И. Акимкин (Институт социологии РАН), который отметил, что в области информационно-вычислительных сетей воспроизводятся все те же проблемы, которые имеются в человеческом сообществе. Он также обратил внимание участников дискуссии на то, что развитие информационно-вычислительных сетей выпукло предъявило проблему информационного, «цифрового», неравенства людей.

С этим согласился В.М. Вишневский, который добавил, что, несмотря на очевидное неравенство в доступе к ресурсам Internet сельских и городских регионов, программа «Электронная Россия», рассчитанная на уменьшение подобного неравенства, в последнее время сокращается. Комментируя те идеи, которые закладываются в программы развития отстающих областей и регионов, В.М. Вишневский обратил внимание на возможность использования «асимметрии» сети Internet, когда запрос может быть отправлен по коммутируемому (например, телефонному) каналу связи, а ответ получен через спутник. Однако применительно к сельской местности, скажем, школам – это может не дать никаких результатов, поскольку в сельских школах единственный телефон находится в ведении директора школы, который может просто не согласиться «пожертвовать» своей «личной» связью ради учащихся².

² На что, правда, последовала реплика из зала: «Даже если деревенские ребята получат доступ к Интернету, то что хороших они там обнаружат?»

И.Н. Воронцов (ИПУ РАН) отметил, что именно Internet должен стать подлинным прорывом в области образования. Однако имеющийся потенциал почти не реализован (при этом выступавший согласился с Ю.С. Затулиевым, что и задачи управления глобального содержания практически не поставлены).

А.А. Амбарцумян (ИПУ РАН) рассказал о давнем опыте своего участия в приемке первых в стране сетей (1984 г., производитель «Olivetti»), обратив внимание на то, что помимо положительных результатов, который принесли эти сети, они же «притянули» с собой «кучу мусора». Так что проблема «спама» – не вчерашняя.

Б.Е. Юрченко (ИПУ РАН) привел примеры отсечения населения от информационно-вычислительных сетей и, в частности, от сети Internet. Комментируя эту реплику, ведущий В.М. Вишневский, заметил, что фактически «отрезать» Internet (не считая физического отключения) сейчас невозможно – высвобождение процесса информационного обмена стало необратимым.

А.С. Мандель (ИПУ РАН) отнес к числу не вполне оправдавшихся ожиданий надежды продавцов и покупателей систем электронной торговли. Капитализация крупнейших предприятий электронной торговли понадчуле неоправданно превосходила их отдачу (окупаемость доходила до 60 лет и больше!). В данном случае имели место ожидания, искусственно подогретые службами маркетинга, поэтому нынешнее падение индекса NASDAK можно считать простым «приведением рынка к норме».

Л.Р. Соркин (ИПУ РАН) предложил вниманию собравшихся четыре тезиса:

- падение индексов высокотехнологичных секторов рынка всегда (с некоторым запаздыванием) сопровождает падение таких универсальных показателей, как индекс Доу-Джонса, поэтому феномен, наблюдавшийся в конце XX в., стал реакцией на общую стагнацию мирового рынка;
- имел место сознательный «перегрев» рыночных ожиданий в области глобальных сетей;
- сети типа Internet принципиально изменили «стиль жизни» и стали обязательной составляющей нынешней цивилизации;
- не меньшую роль в жизни человечества играют сегодня и корпоративные сети.

Как уже отмечалось, на МКПУП было представлено более 300 секционных докладов, которые были разбиты на шесть направлений по 20 секциям. В общей сложности было проведено 34 секционных заседания. К сожалению, как это уже установилось на всех проводившихся в последние годы конференциях, приехать смогли далеко не все докладчики.

Для ознакомления с полным содержанием прочитанных на конференции пленарных и секционных докладов автор отсылает читателей к двум томам сборника тезисов МКПУП, которые можно приобрести в Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.

А.С. Мандель

☎ (095) 334-89-69

E-mail: manfoon@ipu.rssi.ru



ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Статья представляется в редакцию на бумаге в 2-х экземплярах, с аннотацией и направлением организации, а также обязательно в электронном виде на диске 3,5 дюйма или по электронной почте (не более 2 Мбайт). Аннотация, название статьи и фамилии авторов должны быть представлены также на английском языке. Объем оригинальной статьи не должен превышать 10, обзорной – 18 стр. текста. Текст печатается через 2 интервала с одной стороны бумаги формата А4, страницы нумеруются. В электронной форме текст должен быть в редакторе Word97 (не ниже) шрифтом №12 Times New Roman; текст не форматируется, т. е. не имеет табуляции, колонок и т. д. Рисунки должны иметь расширение, совместимое с Word97, или в формате CorelDraw: шрифты представляются отдельно или переводятся в кривые; фотографии должны быть предельно четкими, черно-белыми, на глянцевой бумаге или в формате TIFF с разрешением 300 dpi. Толщина линии рисунков, представляемых в электронной форме – не менее 3 пикселей.

Все буквенные обозначения, приведенные на рисунках, необходимо пояснить в основном или подрисункочном текстах (недопустимы повторные обозначения – в подрисункочных подписях и в тексте). Нумеровать следует только те формулы и уравнения, на которые есть ссылка в последующем изложении. Список литературы (только органически связанный со статьей) составляется в порядке цитирования и дается в конце статьи. Ссылки на литературу в тексте отмечаются порядковыми номерами в квадратных скобках.

В конце статьи следует указать полностью имя, отчество и фамилию автора, ученыe степени и звания, должность, место работы, контактный телефон, электронные адреса.

Адрес редакции: 117997, ГСП-7, Москва, Профсоюзная ул., д. 65, ИПУ РАН, офис 104.

Тел./факс: (095) 330-42-66. Тел.: 334-90-20, 334-92-00. E-mail: datchik@ipu.rssi.ru

Интернет: www.ipu.ru/period/pu