

CONTROL SCIENCES

Научно-технический журнал

6 номеров в год ISSN 1819-3161

УЧРЕДИТЕЛЬ

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН

Главный редактор Д.А. Новиков

Заместители главного редактора

Л.П. Боровских, Ф.Ф. Пащенко

Редактор

Т.А. Гладкова

Выпускающий редактор Л.В. Петракова

Издатель ООО «СенСиДат-Контрол»

Адрес редакции 117997, ГСП-7, Москва, ул. Профсоюзная, д. 65, к. 410. Тел./факс (495) 334-92-00

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

Оригинал-макет и электронная версия подготовлены ООО «Адвансед Солюшнз»

Отпечатано с готовых диапозитивов в типографии ГКС

Фото на четвертой странице обложки А.Б. Шубина

Подписано в печать 6.03.2008 г.

Заказ № РВ209

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

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

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

Подписные индексы:

80508 и 81708 в каталоге Роспечати 38006 в объединенном каталоге «Пресса России»

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

2.2009

СОДЕРЖАНИЕ

Математические проблемы управления	
Климченко В.В. Модификация многомерного алгоритма Левинсона	
Анализ и синтез систем управления	
Бобриков Н.М., Денисов И.К., Кузнецов С.И., Шубладзе А.М. Автоматический поиск оптимальных по степени устойчивости настроек ПИ- и ПИД-регуляторов	
Курдюков А.П., Тимин В.Н. H_{∞} -управление энергетической системой в аварийном режиме. Ч. II. Синтез робастного регулятора для управления энергетической системой	
Управление в социально-экономических системах	
Гусев В.Б., Косьяненко А.В. Оценка влияния государственного заказа на воспроизводство ВВП	
Гладков Ю.М., Мартынов В.Л., Шелков А.Б. Методы управления резервом покрытия задолженности в системе социального страхования	
Клепарский В.Г. Оценка составляющих результативности управления отдельных стран по методу «пассивного» эксперимента	
Барминский А.В. Производственная эффективность и оценка ожидаемого объема производства в аспекте концепции граничной стохастической производственной функции	
Ягудин С.Ю., Дубов Л.Ю. Развитие полимерного комплекса региона на базе кластерного подхода (на примере Самарской области)	
Управление подвижными объектами	
Силаев А.В. Алгоритм параметрической адаптации базового закона управления ориентацией большой космической конструкции на основе оценки огибающей мод упругих колебаний	
Андриенко А.Я., Иванов В.П. Совершенствование энергетических характеристик жидкостных ракет средствами автоматического управления. Ч. II. Бортовые системы управления расходованием топлива	
Управление в медико-биологических системах	
Файзрахманов Р.А., Кычкин А.В. Алгоритмическое и программное обеспечение информационной системы диагностики атеросклероза	
Хроника	
Владислав Юльевич Рутковский (к 80-летию со дня рождения)	
XVI международная конференция «Управление безопасностью сложных систем»	
«Управление инновациями — 2008»: инновационные процессы на пороге экономического кризиса	
* * *	
Contents and abstracts	

МОДИФИКАЦИЯ МНОГОМЕРНОГО АЛГОРИТМА ЛЕВИНСОНА

В.В. Климченко

Исследованы зависимости между ковариационными матрицами, вычисляемыми в процессе многомерной рекурсии Левинсона. Показано, что учет выявленных взаимосвязей сокращает число операций обращения матриц в два раза по сравнению со стандартным вариантом алгоритма.

Ключевые слова: идентификация систем, многомерный временной ряд, блочно-теплицева матрица, быстрый алгоритм, многомерная рекурсия Левинсона.

ВВЕДЕНИЕ

Многие задачи управления приводят к системам уравнений с так называемыми «структурированными» (например, с теплицевыми или с ганкелевыми) матрицами. Для решения таких уравнений применяются «быстрые» алгоритмы, использующие особенности структуры матрицы. В отличие от традиционных алгоритмов, предназначенных для матриц произвольной структуры и требующих $O(n^3)$ арифметических операций (где n — порядок матрицы), трудоемкость быстрых алгоритмов составляет $O(n^2)$.

Среди быстрых алгоритмов для теплицевых матриц можно выделить два основных класса. Один из них охватывает различные варианты алгоритма Шура [1], другой включает в себя алгоритмы, основанные на широко известной рекурсии Левинсона [2]. Алгоритм Шура отыскивает разложение теплицевой матрицы в произведение треугольных множителей, тогда как рекурсия Левинсона приводит к аналогичному разложению обратной матрицы. Другая особенность алгоритма Левинсона состоит в минимальном объёме памяти, необходимой для отыскания решения системы уравнений. Эти свойства делают рекурсию Левинсона особенно привлекательной в ситуациях, требующих быстрого решения систем уравнений с матрицами больших размеров. В качестве типичных примеров области применения этого алгоритма можно привести идентификацию в режиме реального времени при адаптивном управлении, а также задачи обработки звуковых сигналов [3] и изображений [4].

Отметим и так называемые «сверхбыстрые» алгоритмы [5, 6]. Такие процедуры, разработанные на основе обобщенного алгоритма Шура, требуют $O(n\log^2 n)$ арифметических операций для решения системы уравнений с теплицевой матрицей порядка n. Однако, поскольку символ Ландау $O(\cdot)$ характеризует лишь асимптотическое поведение различных алгоритмов при $n \to \infty$, вопрос об их свойствах при конечных значениях n требует отдельного рассмотрения. Теоретические исследования показывают [5] и численные эксперименты подтверждают [6], что сверхбыстрые алгоритмы по скорости своей работы «настигают» рекурсию Левинсона при 256 < n < 512, тогда как при n < 256 алгоритм Левинсона явно предпочтительнее.

При идентификации многомерных процессов приходится решать системы уравнений с блочно-теплицевыми матрицами, и алгоритм Левинсона был адаптирован для этого случая [7, 8]. На каждой итерации в многомерной рекурсии Левинсона наиболее трудоемки операции обращения двух ковариационных матриц. Одна из них содержит ковариации ошибок прогнозирования исследуемого процесса, вторая состоит из ковариаций ошибок «прогнозирования назад», т. е. ошибок оценивания предыдущих значений.

Если каждый блок в блочно-теплицевой матрице системы уравнений представляет собой, в свою очередь, теплицеву подматрицу, то использование взаимосвязей между ковариациями ошибок позволяет сократить число операций обращения ковариационных матриц в два раза [9]. Однако, хоть такое допущение и естественно для задач обработки изображений [4], оно оказывается весьма ограничивающим при идентификации в контексте задач управления.



В данной статье исследуются зависимости между ковариационными матрицами ошибок без каких-либо предположений о структуре блоков, из которых состоит блочно-теплицева матрица системы уравнений. Вывод формул опирается лишь на предположение о положительной определенности обращаемых ковариационных матриц. Такое допущение, в отличие от принятого в работе [9] предположения о теплицевой структуре каждого блока, не оказывает существенного влияния на область применимости полученных результатов, так как в практических ситуациях оно, как правило, справедливо.

Использование выявленных взаимосвязей сокращает число операций обращения матриц в два раза по сравнению со стандартным вариантом многомерной рекурсии Левинсона.

1. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ФИЛЬТРА ДЛЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ СЛУЧАЙНОГО ПРОЦЕССА

Типичный пример применения алгоритма Левинсона представляет собой задача идентификации системы для оптимального (в смысле минимума среднеквадратичных ошибок) преобразования некоторого наблюдаемого стационарного процесса. Пусть

$$y_{t} = \sum_{j=0}^{n} A_{j} x_{t-j} + e_{t}, \tag{1}$$

где $x_t = (x_{1,t} \dots x_{r,t})^T$ — заданный r-мерный входной сигнал искомого фильтра (предполагается, что процесс x_t центрирован, т. е. $M\{x_{k,\ t}\}=0\}$; $y_t=(y_{1,t}\dots y_{r,\ t})^T$ — требуемый выходной сигнал; A_j — искомые матрицы коэффициентов фильтра размером $r\times r, j=0,1,...,n$; $e_t=(e_{1,\ t}\dots e_{r,\ t})^T$ — r-мерный вектор ошибок.

Принцип ортогональности предполагает некоррелированность ошибок с входным сигналом:

$$M\{e_{r}x_{t-j}^{T}\}=0_{r}, \quad j=0, 1, ..., n,$$
 (2)

где символом 0_r обозначена нулевая матрица размера $r \times r$. Действительно, если бы существовала ненулевая корреляция компонент вектора e_t с компонентами вектора x_{t-j} , то значения ошибок можно было бы оценивать по значениям входного процесса. Включая такие оценки как поправки в модель фильтра, входящую в правую часть формулы (1), можно было бы уменьшить дисперсию компонент вектора ошибок e_t , т. е. фильтр (1) не был бы оптимальным. Таким образом, соотношения (2) отражают условие оптимальности искомого фильтра.

Выразив ошибки через входной и выходной сигналы при помощи равенства (1), получим

$$\mathbf{M}\left\{\left(y_{t}-\sum_{j=0}^{n}A_{j}x_{t-j}\right)x_{t-k}^{T}\right\}=0_{r}, \quad k=0, 1, ..., n,$$

откуда следуют уравнения

$$\sum_{j=0}^{n} A_{j} M\{x_{t-j} x_{t-k}^{T}\} = M\{y_{t} x_{t-k}^{T}\}, \quad k = 0, 1, ..., n, \quad (3)$$

которые можно записать более компактно, если ввести обозначения $M\{x_ix_{t-k}^T\} = C_k$, $M\{y_tx_{t-k}^T\} = B_k$.

Тогда система уравнений (3) с учетом стационарности процесса x, принимает вид

$$\sum_{j=0}^{n} A_{j} C_{k-j} = B_{k}, \quad k = 0, 1, ..., n,$$

или, в матричной форме записи,

$$AC = B, (4)$$

где $A = (A_0 \ A_1 \ ... \ A_n); \ B = (B_0 \ B_1 \ ... \ B_n);$

$$C = \begin{pmatrix} C_0 & C_1 & \dots & C_{n-1} & C_n \\ C_{-1} & C_0 & \dots & & C_{n-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ C_{-n+1} & \dots & C_0 & C_1 \\ C_{-n} & C_{-n+1} & \dots & C_{-1} & C_0 \end{pmatrix} -$$

симметрическая положительно определенная блочно-теплицева матрица, состоящая из блоков C_l размером $r \times r$, причем $C_{-l} = C_l^T$, l = -n, ..., -1, 0, 1, ..., n.

В Приложении приведен многомерный алгоритм Левинсона, которым можно воспользоваться для решения системы уравнений (4), заменив неизвестные ковариационные подматрицы C_i их статистическими оценками R_{l} . Отличительная черта алгоритма, помимо высокой скорости расчетов и минимального объема требуемой памяти, заключается в рекурсивной последовательности вычислений. На каждой итерации решение системы (4) для некоторого значения n = m выражается через решение для случая n = m - 1, найденное на предыдущей итерации. Эта особенность алгоритма очень удобна на практике, так как порядок фильтра (1) обычно не известен априорно. Выполнив расчеты при некотором n = m, можно проверить адекватность найденной модели, и в случае отрицательного результата проверки продолжать рекурсивные вычисления до достижения требуемой точности. Статистические критерии для проверки



адекватности эмпирической модели многомерного случайного процесса можно найти, например, в работах [10-12].

2. АНАЛИЗ ВЗАИМОСВЯЗЕЙ МЕЖДУ КОВАРИАЦИОННЫМИ МАТРИЦАМИ

Предположим, что r-мерный фильтр с весовыми матрицами $Y_{m-1,\ 0},\ Y_{m-1,\ 1},\ ...,\ Y_{m-1,\ m-1}$ применяется для прогнозирования значения процесса x_{t+1} по предшествующим значениям $x_t,\ x_{t-1},\ ...,\ x_{t-m+1}$:

$$x_{t+1} = \hat{x}_{t+1} + \varepsilon_{t+1}, \tag{5}$$

где

$$\hat{x}_{t+1} = -\sum_{j=0}^{m-1} Y_{m-1,j} x_{t-j} -$$
 (6)

прогнозируемое значение вектора x_{t+1} , ε_{t+1} — r-мерный вектор ошибок прогноза.

Соотношения (5) и (6) приводят к простой формуле для вычисления статистических оценок ковариаций случайного вектора ε_{t+1} . Поскольку процесс x, центрирован, то

$$\begin{split} \mathbf{M}\{\varepsilon_{t+1}\} &= \mathbf{M}\{x_{t+1} - \hat{x}_{t+1}\} = \\ &= \mathbf{M}\{x_{t+1}\} + \sum_{j=0}^{m-1} Y_{m-1,j} \mathbf{M}\{x_{t-j}\} = \underbrace{(0 \cdots 0)}_{r}^{T}. \end{split}$$

Поэтому

$$\begin{aligned} & \operatorname{cov}\{\varepsilon_{t+1}, \, \varepsilon_{t+1}\} = \mathbf{M}\{\varepsilon_{t+1}\varepsilon_{t+1}^{T}\} = \\ & = \mathbf{M}\left\{\left(x_{t+1} + \sum_{j=0}^{m-1} Y_{m-1,j} x_{t-j}\right) \left(x_{t+1} + \sum_{j=0}^{m-1} Y_{m-1,j} x_{t-j}\right)^{T}\right\} = \\ & = \mathbf{M}\{x_{t+1} x_{t+1}^{T}\} + \sum_{j=0}^{m-1} Y_{m-1} \mathbf{M}\{x_{t-j} x_{t+1}^{T}\} + \\ & + \sum_{j=0}^{m-1} \mathbf{M}\{x_{t+1} x_{t-j}^{T}\} Y_{m-1,j}^{T} + \\ & + \sum_{j=0}^{m-1} Y_{m-1,j} \mathbf{M}\{x_{t-j} x_{t-k}^{T}\} Y_{m-1,k}^{T}. \end{aligned}$$

Учитывая, что (вследствие стационарности процесса x_l) элементы матрицы $\mathrm{M}\{x_{t-j}x_{t-k}^T\}=C_{k-j}$ зависят только от разности индексов (k-j), выра-

жение для автоковариационной матрицы ошибок можно представить в виде

$$cov\{\varepsilon_{t+1}, \varepsilon_{t+1}\} = C_0 + \sum_{j=0}^{m-1} Y_{m-1,j} C_{-1-j} + \\
+ \sum_{j=0}^{m-1} C_{j+1} Y_{m-1,j}^T + \sum_{j,k=0}^{m-1} Y_{m-1,j} C_{k-j} Y_{m-1,k}^T = \\
= C_0 + \sum_{j=1}^{m} Y_{m-1,j-1} C_{-j} + \sum_{j=0}^{m-1} C_{j+1} Y_{m-1,j}^T + \\
+ \sum_{k=0}^{m-1} \left[\sum_{j=0}^{m-1} Y_{m-1,j} C_{k-j} \right] Y_{m-1,k}^T = \\
= C_0 + \sum_{j=1}^{m} Y_{m-1,j} C_{k-j} Y_{m-1,j}^T + \\
+ \sum_{i=0}^{m-1} \left[C_{i+1} + \sum_{j=0}^{m-1} Y_{m-1,j} C_{i-j} \right] Y_{m-1,i}^T \tag{7}$$

Если заменить неизвестные матрицы C_j их статистическими оценками R_j , а матричные коэффициенты $Y_{m-1,j}$ выбрать так, чтобы выполнялось условие (П1 — см. Приложение), то выражение в квадратных скобках формулы (7) обращается в нуль при всех значениях индекса i=0,1,...,m-1. При этом, как видно из соотношений (7) и (П6), матрица \tilde{V}_m является выборочной ковариационной матрицей случайного вектора ε_{t+1} .

Далее, рассматривая так называемую задачу «прогнозирования в обращенном времени» (т. е. задачу оценивания вектора x_{t-m} по векторам $x_{t-m+1}, x_{t-m+2}, ..., x_t$), можно путем аналогичных рассуждений убедиться в том, что матрица V_m , определяемая формулой (П4), является ковариационной матрицей случайного вектора, состоящего из ошибок такого оценивания.

Таким образом, матрицы V_m и \tilde{V}_m неотрицательно определены, поскольку это матрицы ковариаций случайных векторов с действительными компонентами. Более того, если бы какая-либо из этих матриц оказалось вырожденной, то соответствующее распределение вероятностей было бы несобственным, т. е. существовала бы детерминированная зависимость между компонентами случайного вектора. Так как в практических ситуациях подобные свойства не характерны для случайных процессов, будем предполагать, что матрицы V_m и

 \tilde{V}_{m} не вырождены и, следовательно, положительно определены.



Рассмотрим матрицу $F_m = \tilde{W}_m W_m$ (где сомножители \tilde{W}_m и W_m определены формулами (П5) и (П3)) и обозначим ее характеристические числа через $f_1, ..., f_r$. Из определения сомножителей матрицы F_m следует равенство

$$V_m^{-1/2} F_m V_m^{1/2} = V_m^{-1/2} U_m^T \tilde{V}_m^{-1} U_m V_m^{-1/2} =$$

$$= (\tilde{V}_m^{-1/2} U_m V_m^{-1/2})^T (\tilde{V}_m^{-1/2} U_m V_m^{-1/2}),$$

т. е. существует преобразование подобия, связывающее матрицу F_m с некоторой симметрической неотрицательно определенной матрицей, все элементы которой действительны. Следовательно, все характеристические числа $f_1, ..., f_r$ действительны и неотрицательны [13].

Кроме того, воспользовавшись соотношениями $(\Pi 3)$, $(\Pi 5)$ и $(\Pi 12)$, получим

$$V_{m+1} = (I_r - F_m)V_m, (8)$$

где I_r — единичная матрица порядка r. Представив это равенство в виде

$$\begin{split} V_m^{-1/2} \ V_{m+1} \ V_m^{-1/2} \ = \ V_m^{-1/2} \ (I_r - F_m) V_m^{1/2} \ = \\ \ = \ (V_{m+1}^{1/2} \ V_m^{-1/2})^T V_{m+1}^{1/2} \ V_m^{-1/2} \end{split}$$

и учитывая невырожденность матриц V_m и V_{m+1} , можно убедиться в том, что все характеристические числа матрицы (I_r-F_m) (обозначим их через $g_1, ..., g_r$) действительны и положительны.

Числа g_1 , ..., g_r по определению являются корнями уравнения $\det(I_r-F_m-\lambda I_r)\equiv\det(-F_m+(1-\lambda)I_r)=0$, тогда как характеристические числа f_1 , ..., f_r удовлетворяют уравнению $\det(F_m-\lambda I_r)=0$. Поэтому все корни этих двух уравнений можно проиндексировать в такой последовательности, что $f_k=1-g_k,\ k=1,\ ...,\ r$. Так как все f_k действительны и неотрицательны, а все g_k действительны и положительны, то из полученных соотношений следуют неравенства

$$|f_k| < 1, \quad k = 1, ..., r.$$
 (9)

Путем аналогичных рассуждений можно прийти к соотношениям

$$\tilde{V}_{m+1} = (I_r - \tilde{F}_m) \, \tilde{V}_m,$$
 (10)

$$|\tilde{f}_k| < 1, \quad k = 1, ..., r,$$
 (11)

где $\tilde{F}_m = W_m \tilde{W}_m; \; \tilde{f}_1 \,, \, ..., \; \tilde{f}_k \, - \,$ характеристические числа матрицы \tilde{F}_m .

Известно [13], что при выполнении условий (9) и (11) сходятся матричные степенные ряды

$$\sum_{j=0}^{\infty} F_m^j = (I_r - F_m)^{-1} \text{ M} \sum_{j=0}^{\infty} \tilde{F}_m^j = (I_r - \tilde{F}_m)^{-1}.$$

Следовательно,
$$(I_r - \tilde{F}_m)^{-1} = \sum_{j=0}^{\infty} (W_m \tilde{W}_m)^j = I_r +$$

$$+ \sum_{j=0}^{\infty} (W_m \tilde{W}_m)^j = I_r + \sum_{j=0}^{\infty} W_m (\tilde{W}_m W_m)^j \tilde{W}_m = I_r +$$

+
$$W_m \left(\sum_{j=0}^{\infty} F_m^j \right) \tilde{W}_m$$
, T. e.

$$(I_r - \tilde{F}_m)^{-1} = I_r + W_m (I_r - F_m)^{-1} \tilde{W}_m.$$
 (12)

Заметим, что матрицы V_m и \tilde{V}_m входят в формулы алгоритма Левинсона в минус первой степени. Исключение составляют лишь формулы (П12) и (П13), предназначенные только для перехода к следующей итерации. Поэтому на каждой итерации можно избежать вычисления матриц V_{m+1} и

 $ilde{V}_{m+1},$ если сразу вычислять обратные к ним матрицы по формулам

$$V_{m+1}^{-1} = V_m^{-1} (I_r - F_m)^{-1}, (13)$$

$$\tilde{V}_{m+1}^{-1} = \tilde{V}_{m}^{-1} (I_r - \tilde{F}_m)^{-1}, \tag{14}$$

вытекающим из соотношений (8) и (10).

Таким образом, выведенная здесь формула (12) предоставляет возможность заменить процедуру обращения двух матриц V_{m+1} и \tilde{V}_{m+1} обращением только одной матрицы (I_r-F_m) . Вычислив $(I_r-F_m)^{-1}$, можно затем найти V_{m+1}^{-1} и \tilde{V}_{m+1}^{-1} по формулам (12)—(14). Следовательно, применение предлагаемой модификации на каждой итерации алгоритма приводит к двукратному сокращению числа операций обращения матриц, поскольку матрицы V_m^{-1} и \tilde{V}_m^{-1} , используемые в формулах (13) и (14), найдены на предыдущем шаге.



ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее трудоемкими операциями многомерной рекурсии Левинсона являются процедуры обращения матриц. Предлагаемая модификация вычислительной схемы позволяет сократить число обращаемых матриц в два раза по сравнению со стандартным вариантом алгоритма. Однако, как было уже отмечено во Введении к данной статье, при достаточно больших (n > 512) размерах матрицы решаемой системы уравнений «сверхбыстрые» алгоритмы опережают рекурсию Левинсона по скорости расчетов.

В этой связи можно обратить внимание на то, что если при возрастании п до значения в несколько десятков (обычно из опыта называют значение *п* в пределах от 40 до 50) по-прежнему не достигается адекватность эмпирической модели случайного процесса, этот факт служит основанием для сомнений в стационарности [14]. Дело в том, что медленное убывание выборочной ковариационной функции вызвано расположением каких-либо из корней характеристического уравнения искомой динамической системы вблизи границы ее устойчивости (являющейся в случае дискретного времени единичной окружностью). Такое расположение корней приводит к плохой обусловленности матрицы решаемой системы уравнений, что может вызвать недопустимо большую погрешность, какой бы алгоритм решения ни применялся [15].

В подобных ситуациях необходимо преобразование исходного временного ряда для удаления корней характеристического уравнения от границы области стационарности. Итогом такого преобразования должно стать достаточно быстрое убывание абсолютной величины ковариационной функции исследуемого процесса и, следовательно, достижение адекватности искомой эмпирической модели при сравнительно небольшом значении п. В качестве широко распространенного и хорошо зарекомендовавшего себя на практике примера желаемого преобразования можно привести дифференцирование компонент временного ряда, которое в случае дискретного времени сводится к взятию конечных разностей наблюдаемого процесса [14, 16].

ПРИЛОЖЕНИЕ

МНОГОМЕРНЫЙ АЛГОРИТМ ЛЕВИНСОНА

В данном Приложении приводится вычислительная схема многомерной рекурсии Левинсона [7, 8] для

отыскания матрицы $X_m = (X_{m,0} \ X_{m,1} \ ... \ X_{m,m})$, удовлетворяющей системе уравнений $X_m P_m = Q_m$, где

$$Q_m = (Q_{0,0} \ Q_{1,1} \dots \ Q_{m,m});$$

$$P_{m} = \left(\begin{array}{ccccc} R_{0} & R_{1} & \dots & R_{m-1} & R_{m} \\ R_{-1} & R_{0} & \dots & & R_{m-1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ R_{-m+1} & \dots & R_{0} & R_{1} \\ R_{-m} & R_{-m+1} & \dots & R_{-1} & R_{0} \end{array} \right) -$$

симметрическая положительно определенная блочно-теплицева матрица. Каждая из подматриц $X_{mj},\ Q_{jj}$ и

 R_k имеет размер $r \times r$, причем $R_{-l} = R_l^T$, j = 0, 1, ..., m, l = -m, ..., -1, 0, 1, ..., m.

Предположим, что нам известны матрицы

$$\begin{split} X_{m-1} &= (X_{m-1,0} \ X_{m-1,1} \ ... \ X_{m-1,\,m-1}), \ Y_{m-1} = \\ &= (Y_{m-1,0} \ Y_{m-1,1} \ ... \ Y_{m-1,\,m-1}) \ \bowtie \ Z_{m-1} = \\ &= (Z_{m-1,0} \ Z_{m-1,1} \ ... \ Z_{m-1,\,m-1}), \end{split}$$

удовлетворяющие системе уравнений

$$\begin{cases} X_{m-1}P_{m-1} = (Q_{0,0}Q_{1,1}...Q_{m-1,m-1}) \\ Y_{m-1}P_{m-1} = (-R_1...-R_m) \\ Z_{m-1}P_{m-1} = (-R_m^T...-R_1^T). \end{cases} (\Pi 1)$$

Тогда решение системы

$$\begin{cases} X_m P_m = (Q_{0,0} Q_{1,1} \dots Q_{m-1, m-1} Q_{m, m}) \\ Y_m P_m = (-R_1 \dots - R_m - R_{m+1}) \\ Z_m P_m = (-R_{m+1}^T - R_m^T \dots - R_1^T) \end{cases}$$

можно найти по следующим формулам [7, 8]:

$$U_{m} = R_{m+1} + \sum_{j=1}^{m} Y_{m-1, m-j} R_{j}; \tag{\Pi2}$$

$$W_{m} = -U_{m} V_{m}^{-1} , \qquad (\Pi 3)$$

где

$$V_m = R_0 + \sum_{j=1}^{m} Z_{m-1, m-j} R_j; \tag{\Pi4}$$

$$\tilde{W}_m = -U_m^T \tilde{V}_m^{-1}, \tag{\Pi5}$$

где

$$\tilde{V}_m = R_0 + \sum_{j=1}^m Y_{m-1,j-1} R_j^T;$$
 (Π6)

$$\begin{split} Y_m &= (Y_{m-1,\,0}Y_{m-1,\,1}\,\ldots\,Y_{m-1,\,m-1}0_r) \,+ \\ &+ \,W_m(Z_{m-1,\,0}Z_{m-1,\,1}\,\ldots\,Z_{m-1,\,m-1}I_r), \end{split} \tag{\Pi7}$$

где I_r — единичная матрица порядка r;



$$\begin{split} Z_m &= (0_r Z_{m-1, 0} Z_{m-1, 1} \dots Z_{m-1, m-1}) + \\ &+ \tilde{W}_m (I_r Y_{m-1, 0} Y_{m-1, 1} \dots Y_{m-1, m-1}); \end{split} \tag{\Pi8}$$

$$S_m = \sum_{j=1}^m X_{m-1, m-j} R_j; \tag{\Pi9}$$

$$\hat{W}_m = (Q_{m,m} - S_m) V_m^{-1}; \tag{\Pi10}$$

+
$$\hat{W}_m(Z_{m-1,0}Z_{m-1,1}...Z_{m-1,m-1}I_r);$$
 ($\Pi 11$)

$$V_{m+1} = V_m - U_m^T \tilde{V}_m^{-1} U_m; \tag{\Pi12}$$

$$\tilde{V}_{m+1} = \tilde{V}_m - U_m V_m^{-1} U_m^T. \tag{\Pi13}$$

Вычислительная процедура начинается с присваивания значений

$$m=1, \ X_{0,0}=\ Q_{0,0} \, R_0^{-1}, \quad Y_{0,0}=-R_1 \, R_0^{-1}, \quad Z_{0,0}=-R_1^T \, R_0^{-1},$$

$$V_1 = R_0 - R_1^T R_0^{-1} R_1, \quad \tilde{V}_1 = R_0 - R_1 R_0^{-1} R_1^T$$

и может продолжаться по формулам (П2), (П3), (П5), (П7)—(П13) до любого заданного значения m=n.

ЛИТЕРАТУРА

- Kailath T., Sayed A. Fast Reliable Algorithms for Matrices with Structure. — Philadelphia: SIAM Publ., 1999. — 358 p.
- 2. Levinson N. The Weiner RMS Error Criterion in Filter Design and Prediction // Journal of Mathematics and Physics. 1947. Vol. 25, N 4. P. 261—278.
- Bäckström T. Linear Predictive Modelling of Speech Constraints and Line Spectrum Pair Decomposition. Doctoral thesis. Report no. 71 / Helsinki University of Technology, Laboratory of Acoustics and Audio Signal Processing. Espoo, Finland, 2004.
- 4. *Therrien C.W.* Relations Between 2-D and Multichannel Linear Prediction // IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing. 1981. Vol. ASSP-29, N 3. P. 454—456.

- 5. *Ammar G.S.*, *Gragg W.B.* Superfast Solution of Real Positive Definite Toeplitz Systems // SIAM J. Matrix Anal. Appl. 1988. Vol. 9, N 1. P. 61—76.
- Ammar G.S., Gragg W.B. Numerical Experience with a Superfast Real Toeplitz Solver // Linear Algebra and its Applications. 1989. Vol. 121, N 8. P. 185—206.
- Whittle P. Prediction and Regulation by Linear Least-Square Methods. — London: English Universities Press, 1963. — 147 p.
- 8. Wiggins R.A., Robinson E.A. Recursive Solution to the Multichannel Filtering Problem // J. Geophys. Res. 1965. Vol. 70, N 8. P. 1885—1891.
- Marple S.L. Digital Spectral Analysis with Applications in C, FORTRAN, and MATLAB. — Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 2003. — 465 p.
- Li W.K., McLeod A.I. Distribution of the Residual Autocorrelations in Multivariate ARMA Time Series Models // J. R. Stat. Soc. 1981. Vol. B-43, N 2. P. 231–239.
- Кашьяп Р.Л., Рао А.Р. Построение динамических стохастических моделей по экспериментальным данным. М.: Наука. 1983. 384 с.
- Gatu C., Kontoghiorghes E.J., Gilli M., Winker P. An Efficient Branch-and-Bound Strategy for Subset Vector Autoregressive Model Selection // Journal of Economic Dynamics and Control. — 2008. — Vol. 32, N 6. — P. 1949—1963.
- Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. — 560 с.
- Box G.E.P., Jenkins G.M., Reinsel G.C. Time Series Analysis: Forecasting and Control. — Chichester: Wiley, 2008. — 746 p.
- Беклемишев Д.В. Дополнительные главы линейной алгебры. СПб.: Лань, 2008. 496 с.
- Choi I., Park D. Causal Relation Between Interest and Exchange Rates in the Asian Currency Crisis // Japan and the World Economy. 2008. Vol. 20, N 3. P. 435—452.

Статья представлена к публикации членом редколлегии С.Д. Земляковым.

Климченко Владимир Владимирович — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Институт автоматики и процессов управления РАН, г. Владивосток, **☎**(4232) 31-02-02, e-mail: volk@iacp.dvo.ru.

Содержание сборника "Управление большими системами", вып. 23, http://ubs.mtas.ru/

- ✓ **Алиев В.С.** Многошаговые игры двух лиц с принятием решений на каждом шаге при агрегированной информации о выборе "осторожного" второго игрока
 - ✓ Чечурин Л.С. Алгебраическое достаточное условие периодически нестационарных систем управления
- ✓ **Шубладзе А.М.** и др. Исследование оптимальных по степени устойчивости решений при ПИД управлении. Часть 2
- ✓ **Андриевский Б.Р., Фрадков А.Л.** Адаптивные методы передачи информации модуляцией генераторов хаотических сигналов
- ✓ **Трахтенгерц Э.А.** Компьютерные технологии коррекции целей, стратегических решений и оперативных воздействий в динамике управления
 - ✓ **Горелов М.А.** Конкурентное равновесие на финансовом рынке
 - ✓ *Юдицкий С.А.* Графодинамическая автоматная модель разрешения конфликтов в организационных системах
 - У Воронин Ю.Ф., Камаев В.А., Бойко Н.А. Эмпирическая методика снижения брака отливок
 - ✓ **Калимулина Э.Ю.** Расчет надежности сложных систем с параллельной структурой, полностью восстанавливаемых в процессе эксплуатации



АВТОМАТИЧЕСКИЙ ПОИСК ОПТИМАЛЬНЫХ ПО СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ НАСТРОЕК ПИ- И ПИД-РЕГУЛЯТОРОВ

Н.М. Бобриков, И.К. Денисов, С.И. Кузнецов, А.М. Шубладзе

Предложена процедура автоматического поиска оптимальных по критерию максимальной степени устойчивости настроек регуляторов и соответствующих им структур, определяемых крайними правыми корнями соответствующих характеристических полиномов при ПИ- и ПИД-законах управления, исходя из полученных ранее структур оптимальных в указанном смысле решений. Показана возможность решения рассматриваемой задачи в различных случаях до предельных структур.

Ключевые слова: автоматический поиск, системы максимальной степени устойчивости, оптимальные по степени устойчивости решения.

ВВЕДЕНИЕ

Один из возможных способов итерационного поиска оптимальных по степени устойчивости решений рассматриваемых задач основан на методе *D*-разбиения, предложенном Ю.И. Неймарком [1, 2] и развитом в работах [3, 4]. В соответствии с этим способом в пространстве настраиваемых параметров регулятора может быть выделена область, которой соответствуют характеристические полиномы замкнутой системы управления, не имеющие корней в правой полуплоскости комплексной плоскости. С помощью итерационных процедур сравнительно просто эта область сжимается в точку, и для нее определяются значения максимальной степени устойчивости и оптимальных настраиваемых параметров регулятора. Наиболее эффективно метод работает в случае двух настраиваемых параметров и значительно усложняется при наличии трех и более таких параметров.

В настоящей статье на основе опубликованных в работах [5—9] результатов по анализу годографов Михайлова оптимальных по степени устойчивости систем управления предлагается итерационный способ автоматического поиска оптимальных настроек, значения максимальной степени устойчивости и крайних правых корней характеристических полиномов при ПИ- и ПИД-законах управления.

Анализ годографа Михайлова дает возможность сдвигом мнимой оси комплексной плоскости корней для любых начальных настроек регуляторов найти размер такого сдвига, при котором один или несколько крайних правых корней имеют нулевую действительную часть. Этот размер сдвига является степенью устойчивости системы управления, зависящей от начальных настроек. Варьируя определенным образом настройки регуляторов, можно увеличивать степень устойчивости системы. В тех случаях, когда ни при каких вариациях параметров не удается повысить степень устойчивости системы, имеет место максимальная степень устойчивости. Такой степени устойчивости соответствует один из случаев, описанных в работах [5—9].

Задача автоматического поиска максимальной степени устойчивости и соответствующих ей оптимальных настроек ПИ- и ПИД-регуляторов будет решаться для систем управления, в которых связь между выходным сигналом x(t) объекта и управляющим сигналом u(t) определяется уравнением

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

где $x^{(n)}(t)$, i=0,...,n, $n\geqslant 3$ — фазовые координаты, a_i и k_0 — параметры объекта управления.



При ПИ управлении

$$u(t) = u_{\Pi \mathcal{U}}(t) = k_{\Pi} \varepsilon(t) + k_{\mathcal{U}} \int_{0}^{t} \varepsilon(t) d\tau, \qquad (2)$$

при ПИД управлении

$$u(t) = u_{\Pi \Pi \Pi}(t) = k_{\Pi} \varepsilon(t) + k_{\Pi} \int_{0}^{t} \varepsilon(t) d\tau + k_{\Pi} \dot{\varepsilon}(t), \quad (3)$$

где k_{Π} , k_{Π} и k_{Π} — автоматически настраиваемые параметры, $\varepsilon(t)=g(t)-x(t),\,g(t)$ — задающее воздействие.

1. ВОЗМОЖНОСТИ ДВИЖЕНИЯ КОРНЕЙ ПРИ ПИ УПРАВЛЕНИИ

Рассмотрим возможности движения на комплексной плоскости крайних правых корней полинома (6) влево от мнимой оси при вариации параметров k_{Π} и k_{Π} для $\Pi \Pi$ -закона управления (2). Под оптимальными параметрами понимаются такие, при которых выполняется условие

$$I_{\text{on}} = -\min_{k_{\Pi}, k_{\Pi}} \max_{k} \operatorname{Re} \lambda_{j}(k_{\Pi}, k_{\Pi}), \tag{4}$$

где λ_i — корни характеристического полинома

$$D_{n+1}(\lambda) = \lambda^{n+1} + \sum_{i=1}^{n} a_i \lambda^i + k_0 (k_{\Pi} \lambda + k_{\text{M}}).$$
 (5)

Оптимальные значения параметров k_{Π} и k_{Π} будем искать с помощью полинома, получаемого из полинома (5) заменой λ на $\lambda_1=\lambda+I$. При этом, как показано в работе [7], в случае оптимальных значений $k_{\Pi}=k_{\Pi.\text{оп}}$ и $k_{\Pi}=k_{\text{И.оп}}$ структура такого полинома при $I=I_{\text{оп}}$ (4) принимает вид

$$D_{1(n+1)}(\lambda_1, k_{\Pi,\text{on}}, k_{\text{M.on}}) =$$

$$= \lambda_1^{n_q} \prod_{i=1}^{n_{k1}} (\lambda_1^2 + \omega_i^2)^{\gamma_i} D_{1[n+1-n_q-2n_k]}(\lambda_1), \qquad (6)$$

где $D_{1[n+1-n_q-2n_k]}(\lambda_1)$ — полином, не имеющий корней в правой полуплоскости, n_q и γ_i — кратности нулевого корня и комплексно сопряженных пар корней оптимального решения, расположенных на мнимой оси.

Смысл предлагаемого способа автоматического поиска оптимальных в смысле (4) значений параметров k_{Π} и k_{Π} для ΠM управления состоит в том, что если полином (6) не соответствует оптималь-

ному решению, т. е. не является ни одним из возможных семи случаев работы [7], то предлагается вариация значений k_Π и k_M , при которой любой из корней, расположенных на прямой $\lambda = -I$ в комплексной плоскости корней полинома (5), сдвигается влево, сохранив или увеличив значение степени устойчивости I (4). Из сказанного следует, что существует также вариация параметров k_Π и k_M , при которой любой из оставшихся корней также может быть сдвинут влево с сохранением или увеличением степени устойчивости системы (1), (2). Повторяя этот процесс необходимое число раз, можно все крайние правые корни системы (1), (2) сдвинуть влево, увеличив тем самым степень ее устойчивости.

Как следует из работы [7], в допредельных случаях расположения крайних правых корней полинома (6) могут быть действительные корни, действительный корень с комплексно-сопряженной парой корней и комплексно-сопряженные пары корней (табл. 1).

Покажем, что вариацией настроек параметров $k_{\Pi\delta}$ и $k_{N\delta}$ в каждом из указанных случаев все крайние правые корни или часть таких корней могут быть сдвинуты влево.

Вариация настроек параметров $k_{\Pi\delta}$ и $k_{N\delta}$ в случае 1 (см. табл. 1), при которой один корень сдвигается влево, а другой остается на месте, имеет вид $k_{\Pi\delta}=k_{\Pi}+\delta_{\Pi},\ k_{N\delta}=k_{N},\$ где $\delta_{\Pi}>0$ — достаточно малое число, при котором корни полинома $D_{1(n+1-n_q-2n_k)}(\lambda_1,\ k_{\Pi\delta},\ k_{N\delta})$ (6) будут расположены левее прямой $\lambda=-I$. Один оставшийся корень сдвигается влево увеличением значения k_{N} , т. е. $k_{N\delta}=k_{N}+\delta_{N}$, где $\delta_{N}>0$ — достаточно малое число.

Вариации настроек параметров $k_{\Pi\delta}$ и $k_{N\delta}$ в случае 2, при которых действительный корень сдвигается влево, а комплексная пара корней остается на прямой $\lambda=-I$, будет при $k_{N\delta}=k_{N}+\delta_{N}$, где $\delta_{N}>0$ — достаточно малое число, а значение

Таблица 1

Близкие к оптимальным структуры крайних правых корней при ПИ управлении

- $n_q = 2$ действительный корень кратности 2
- $\left| \begin{array}{c} 2 \\ n_q \end{array} \right| n_k = 1$ действительный корень и пара корней
- $3 | n_k = 2$ две некратные пары



 $k_{\Pi\delta}=k_\Pi^{}+\delta_\Pi^{}$ может быть найдено из уравнения ${\rm Im}_1(\omega_1^2)\delta_\Pi^{}-{\rm Re}_1(\omega_1^2)\delta_\Pi^{}=0,\,{\rm гдe}$

$$\operatorname{Re}_{1}(\omega^{2}) = \frac{\partial \operatorname{Re} D_{1(n+1)}(i\omega)}{\partial(\omega^{2})},$$

$$\operatorname{Im}_{1}(\omega^{2}) = \frac{\partial \omega^{-1} \operatorname{Im} D_{1(n+1)}(i\omega)}{\partial(\omega^{2})},$$
(7)

а ω_1 — частота, на которой $\mathrm{Re}D_{1(n+1)}(i\omega_1)=0$ и $\mathrm{Im}D_{1(n+1)}(i\omega_1)=0$.

Выбор вариации настроек в случае 3 определяется системой уравнений ${\rm Im}_1(\omega_2^2)\delta_{\rm M} - {\rm Re}_1(\omega_2^2)\delta_{\Pi} = \delta,$

$$\operatorname{Im}_{1}(\omega_{2}^{2})\delta_{\mathbf{H}} - \operatorname{Re}_{1}(\omega_{2}^{2})\delta_{\mathbf{\Pi}} = \delta, \tag{8}$$

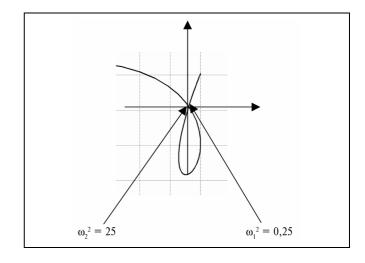
где $\delta > 0$ — достаточно малое число, при котором $\delta_{\rm M}$ и δ_{Π} таковы, что корни полинома $D_{1(n+1-n_q-2n_k)}(\lambda_1,$ $k_{\Pi 1}, k_{\Pi 1}$) (6) будут левее прямой $\lambda = -I$. Если матрица системы уравнений (8) не вырождена, то из этой системы при заданном $\delta > 0$ однозначно определяются $\delta_{\rm H}$ и $\delta_{\rm \Pi}$, при которых обе комплексные пары корней сдвигаются влево от прямой $\lambda = -I$, увеличивая тем самым степень устойчивости системы (1), (2). Если же матрица вырождена, но достаточное условие оптимальности случая 5 работы [7] не выполняется, то для определения искомых δ_{U} и $\delta_{\mathrm{\Pi}}$ достаточно задаться, например, $\delta_{\text{M}} = \delta \cdot \sin \text{Re}_{1}(\omega_{1}^{2})$, а δ_{Π} найти из любого уравнения (8). Близкой также будет одна структура двух пар комплексных корней, частоты которых ω_1 и ω_2 сравнительно близки, а вариации δ_Π и δ_N находятся из системы уравнений (8).

Выбор вариаций δ_Π и δ_N в случае 3 наиболее сложный из всех рассмотренных, поэтому для большей ясности имеет смысл проиллюстрировать его примером.

Пусть
$$D_{1(n+1)}(\lambda_1, k_{\Pi.on}, k_{И.on}) = D_{1(6)} = (\lambda_1^2 + 0.25)(\lambda_1^2 + 25)(\lambda_1^2 + 2\lambda_1 + 1)$$
. Тогда
$$\operatorname{Re}_1(\omega^2) = \frac{\partial \operatorname{Re} D_{1(n+1)}(i\omega)}{\partial(\omega^2)} = (-\omega^2 + 1)(-\omega^2 + 0.25)(\omega^2 + 25),$$

$$\operatorname{Im}_1(\omega^2) = \frac{\partial \omega^{-1} \operatorname{Im} D_{1(n+1)}(i\omega)}{\partial(\omega^2)} = \frac{\partial \omega^{-1} \operatorname{Im} D_{1(n+1)}(i\omega)}{\partial(\omega^2)}$$

 $= 2(-\omega^2 + 0.25)(-\omega^2 + 25).$



Годограф полинома (6) при $\delta_{\Pi} = \delta_{H} = 0$

Нетрудно проверить, что соответствующая этим функциям система уравнений (8) имеет вид

$$-49,5\delta_{\Pi} + 18,56\delta_{\Pi} = \delta,$$

 $49,5\delta_{\Pi} + 594\delta_{\Pi} = \delta.$

Если, например, $\delta=0.01$, то приращения δ_Π и δ_{H} , которые делают полином $D_{1(6)}$ шестой степени устойчивым, таковы: $\delta_\Pi=0.0032$, $\delta_{\mathrm{H}}=0.00019$. Таким образом, имея значения двух пар крайних правых комплексно сопряженных корней полинома (6), можно приращениями δ_Π и δ_{H} их сдвинуть влево, если определитель системы уравнений (8) не равен нулю.

Годограф (см. рисунок) соответствует полиному, имеющему пару комплексно сопряженных чисто мнимых корней. При $\delta_{\Pi}=0{,}0032$ и $\delta_{\Pi}=0{,}00019$ годограф сдвигается вверх и немного вправо, что означает сдвиг мнимых корней полинома (6) в левую полуплоскость и устойчивость полинома $D_{1(6)}(\delta)=(\lambda_1^2+0{,}25)(\lambda_1^2+25)(\lambda_1^2+2\lambda_1+1)+0{,}00032\lambda_1+0{,}00019$, что иллюстрирует сделанное утверждение.

2. ВОЗМОЖНОСТИ ДВИЖЕНИЯ КОРНЕЙ ПРИ ПИД УПРАВЛЕНИИ

Рассмотрим теперь возможности движения крайних правых корней полинома (6) влево при вариации параметров k_{Π} , k_{Π} и k_{Π} для ПИД-закона управления (3). Под оптимальными параметрами понимаются такие, при которых выполняется условие

$$I_{\text{on}} = -\min_{k_{\Pi}, k_{\mathcal{U}}, k_{\mathcal{I}}} \max \text{Re} \lambda_{j}(k_{\Pi}, k_{\mathcal{U}}, k_{\mathcal{I}}), \quad (9)$$



где λ_i — корни характеристического полинома

$$D_{n+1}(\lambda) = \lambda^{n+1} + \sum_{1}^{n} a_i \lambda_i + k_0 (k_{\Pi} \lambda + k_{\Pi} + \lambda^2 k_{\Pi}).$$
 (10)

Будем искать оптимальные значения k_{Π} , k_{Π} и k_{Π} с помощью полинома, также получаемого заменой в полиноме (10) λ на $\lambda_1 = \lambda + I$. При этом, как показано в работе [6], в случае оптимальных значений $k_{\Pi} = k_{\Pi.\text{on}}$, $k_{\Pi} = k_{\text{U.on}}$ и $k_{\Pi} = k_{\Pi.\text{on}}$ структура такого полинома при $I = I_{\text{on}}$ (9), (10) принимает вид

$$D_{1(n+1)}(\lambda_1, k_{\Pi.\text{on}}, k_{\text{M.on}}, k_{\text{Д.on}}) =$$

$$= \lambda_1^{n_q} \prod_{i=1}^{n_{k1}} (\lambda_1^2 + \omega_i^2)^{\gamma_i} D_{1[n+1-n_q-2n_k]}(\lambda_1). \quad (11)$$

Как и в случае ПИ управления, смысл поиска оптимальных в смысле (9) значений параметров k_{Π} , k_{U} и k_{Π} для ПИД управления состоит в том, что если полином (11) не представляет собой ни один из возможных 10-ти случаев работ [8, 9], то всегда можно найти вариации значений k_{Π} , k_{U} и k_{Π} , при которых хотя бы один из корней, расположенных на прямой $\lambda = -I$ комплексной плоскости корней в плоскости корней полинома (11), сдвинется влево, сохранив или увеличив значение степени устойчивости I (9). Повторяя этот процесс необходимое число раз, можно все крайние правые корни системы (1), (3) сдвинуть влево, увеличив степень устойчивости этой системы.

Как следует из работ [8, 9], в допредельных случаях расположения крайних правых корней полинома (11) могут быть действительные корни, действительный корень с комплексно-сопряженной парой корней и комплексно-сопряженные пары корней (табл. 2).

Покажем, что вариацией настроек параметров k_{Π} , k_{Π} и k_{Π} в каждом из указанных случаев все крайние правые корни или часть таких корней могут быть сдвинуты влево.

Таблица 2

Близкие к оптимальным структуры крайних правых корней при ПИД управлении

1	$n_q = 3$ — действительный корень кратности 3
	$n_q = 2, n_k = 1$ — действительный корень кратности 2
	и комплексная пара корней

- $n_q = 1, \, n_{k1}, \, n_{k2}$ действительный корень и две некратные комплексные пары
- $4 \mid n_{k1}, n_{k2}, n_{k3}$ три некратные комплексные пары
- $| n_{k} | = 2$ кратная комплексная пара корней

Вариация настроек параметров k_Π , $k_{\rm H}$ и $k_{\rm H}$ в случае 1 (см. табл. 2), при которой один корень сдвигается влево, а остальные останутся на месте, имеет вид $k_{\rm H\delta}=k_{\rm H}+\delta_{\rm H}$, $k_{\rm H\delta}=k_{\rm H}$ и $k_{\rm H\delta}=k_{\rm H}$, где $\delta_{\rm H}>0$ — достаточно малое число, при котором корни полинома $D_{1(n+1-n_q-2n_k)}(\lambda_1,\ k_{\rm H\delta},\ k_{\rm H\delta},\ k_{\rm H\delta})$ будут расположены левее прямой $\lambda_1=0$ в плоскости корней λ_1 полинома (11). Два оставшихся корня сдвигаются влево, например, так, как это было сделано в случае 1 табл. 1.

Вариация настроек параметров k_Π , $k_{\rm H}$ и $k_{\rm H}$ в случае 2, при которой один действительный корень сдвигается влево, а другой действительный корень и комплексная пара корней остаются на прямой $\lambda=-I$ в плоскости корней λ полинома (10), будет при $k_{\rm H\delta}=k_{\rm H}+\delta_{\rm H}$, где $\delta_{\rm H}>0$ — достаточно малое число, а $k_{\rm H\delta}=k_{\rm H}$, т. е. $\delta_{\rm H}=0$. В этом случае $\delta_{\rm H}$ находится из уравнения

$$-\text{Re}_{1}(\omega_{1}^{2})\delta_{\Pi} - \omega_{1}^{2}\text{Im}_{1}(\omega_{1}^{2})\delta_{\Pi} = 0.$$
 (12)

Значение $\delta_{\Pi} > 0$ выбирается настолько малым, чтобы при найденном из уравнения (12) значении δ_{Π} корни полнома $D_{1(n+1-n_q-2n_k)}(\lambda_1, k_{\Pi\delta}, k_{N\delta}, k_{N\delta})$ (12) находились в левой полуплоскости корней λ_1 .

Вариация настроек параметров k_Π , $k_{\rm H}$ и $k_{\rm H}$ в случае 3, при которой один действительный корень сдвигается влево, а комплексные пары корней остаются на прямой $\lambda=-I$ в плоскости корней λ полинома (10), будет при $k_{\rm H\delta}=k_{\rm H}+\delta_{\rm H}$, где $\delta_{\rm H}>0$ — достаточно малое число, а значения $k_{\rm H\delta}=k_{\rm H}+\delta_{\rm H}$ и $k_{\rm H\delta}=k_{\rm H}+\delta_{\rm H}$ находятся из уравнений

$$\operatorname{Im}_{1}(\omega_{1}^{2})\delta_{\mathbf{H}} - \operatorname{Re}_{1}(\omega_{1}^{2})\delta_{\mathbf{\Pi}} - \omega_{1}^{2}\operatorname{Im}_{1}(\omega_{1}^{2})\delta_{\mathbf{\Pi}} = 0,$$

$$\operatorname{Im}_{1}(\omega_{2}^{2})\delta_{\mathsf{M}} - \operatorname{Re}_{1}(\omega_{2}^{2})\delta_{\mathsf{\Pi}} - \omega_{2}^{2}\operatorname{Im}_{1}(\omega_{2}^{2})\delta_{\mathsf{\Pi}} = 0.$$

Вариация δ_{Π} , δ_{Π} и δ_{Π} настроек параметров k_{Π} , k_{Π} и k_{Π} в случае 4, при которой одна комплексная пара корней сдвигается влево, а оставшиеся две пары корней остаются на прямой $\lambda = -I$ плоскости корней λ полинома (10), может быть найдена, как следует из работы [6], с помощью системы уравнений, аналогичных уравнению (12):

$$Im_1(\omega_1^2)\delta_{\mathbf{M}} - Re_1(\omega_1^2)\delta_{\mathbf{\Pi}} - \omega_1^2 Im_1(\omega_1^2)\delta_{\mathbf{\Pi}} = 0,$$

$$Im_1(\omega_2^2)\delta_{IJ} - Re_1(\omega_2^2)\delta_{IJ} - \omega_2^2 Im_1(\omega_2^2)\delta_{IJ} = 0,$$

$$Im_1(\omega_3^2)\delta_{\text{M}} - Re_1(\omega_3^2)\delta_{\Pi} - \omega_3^2 Im_1(\omega_3^2)\delta_{\Pi} = 0,$$



где $\delta > 0$ — достаточно малое число, но эта ситуация была рассмотрена ранее в случае 3 (табл. 1).

Вариация δ_{Π} , δ_{Π} и δ_{Λ} настроек k_{Π} , k_{Π} и δ_{Λ} в случае 5, при которой кратная комплексная пара корней превратится в некратную пару и останется на прямой $\lambda = -I$ плоскости корней λ полинома (10), может быть найдена из уравнений:

$$\operatorname{Im}_{2}(\omega_{1}^{2})(-\delta_{\Pi}) = \delta, \quad \delta_{\Pi} = \delta_{\Pi}\omega_{1}^{2} \text{ и } \delta_{\Pi} = 0,$$

где ${\rm Im}_2(\omega^2)=\frac{\partial {\rm Im}_1(\omega^2)}{\partial(\omega^2)}$, ω_1 — частота кратной пары

корней, где $\delta > 0$ — достаточно малое число. Некратная пара корней была рассмотрена в случае 3 табл. 1.

Входящие в приведенные выше формулы частоты ω_i и соответствующие им величины $\mathrm{Re}_1(\omega_i^2)$ и $\mathrm{Im}_1(\omega_i^2)$ (7) могут быть найдены с помощью годографа

$$Z_{n0}(i\omega) = \text{Re} D_{1(n+1)}(i\omega) + i\omega^{-1} \text{Im} D_{1(n+1)}(i\omega) =$$

= $\text{Re}_0(\omega^2) + i \text{Im}_0(\omega^2),$ (13)

получаемого из полинома $D_{1(n+1)}(\lambda)$ (5) или (10) при $\lambda=\lambda_1-I,\ \lambda_1=i\omega$ и любом действительном значении I.

3. ИТЕРАЦИОННАЯ ПРОЦЕДУРА ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ ПО СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ НАСТРОЕК ПРИ ПИ- И ПИД-ЗАКОНАХ УПРАВЛЕНИЯ

Процедура поиска приведенных в работах [7—9] структур начинается с некоторых начальных значений настроек $k_\Pi=k_{\Pi 0},\ k_{\Pi 0}=k_{\Pi 0},\ k_{\Pi}=k_{\Pi 0}$ и $I=I_0$, при которых годограф (13) соответствует устойчивому полиному) $D_{1(n+1)}(\lambda_1)$ (6) или (11), т. е. он с ростом частоты ω от значения $\omega=0$ обходит против часовой стрелки, начиная с первого квадранта, (n+1) квадрант комплексной плоскости λ_1 . В этом случае для любых $\omega\geqslant 0$ сумма модулей $|\mathrm{Re}D_{1(n+1)}(i\omega)|+|\omega^{-1}\mathrm{Im}D_{1(n+1)}(i\omega)|>\delta$, где δ — некоторое положительное число.

С ростом значения I от $I=I_0$ до некоторого $I=I_1>I_0$ возможны два варианта поведения годографа (13). В первом из них он при некотором $\omega=\omega_{1,1}=0$ начинается на положительной части мнимой оси, т. е. $\operatorname{Re} D_{1(n+1)}(0)=0$, а $\omega^{-1}\operatorname{Im} D_{1(n+1)}(0)>0$, а во втором при $\omega=\omega_{1,1}>0$ пройдет через начало координат, т. е. $\operatorname{Re} D_{1(n+1)}(i\omega_{1,1})=0$ и $\omega_{1,1}^{-1}D_{1(n+1)}(i\omega_{1,1})=0$. Первый вариант означает, что крайним правым корнем полинома (5) или

(11) при $\omega=0$ является действительный корень кратности 1, в случае второго варианта крайними правыми корнями полинома (5) или (10) при $\omega=\omega_{1,\,1}>0$ будет комплексно сопряженная пара корней.

Изменяя как в ПИ, так и в ПИД управлении настройки $k_\Pi = k_{\Pi 0}, \, k_{\Pi} = k_{\Pi 0}$ и $k_{\Pi} = k_{\Pi 0},$ можно добиться, чтобы при $\omega = \omega_{1,1} \ge 0$ стало выполняться неравенство $|\text{Re}D_{1(n+1)}(i\omega)| + |\omega^{-1}\text{Im}D_{1(n+1)}(i\omega)| > \delta$, где δ — достаточно малое число. Вариация настроек для случая $\omega = \omega_{1,1} = 0$ имеет вид $k_{\Pi 1} = k_{\Pi 0}$, $k_{\rm M1} = k_{\rm M0}, \; k_{\rm Д1} = k_{\rm Д0}, \; {
m rдe} \; \delta_{\rm M1} > 0, \; {
m a} \; {
m для} \; {
m cлучая}$ $\omega = \omega_{1,1} > 0$ нужную вариацию можно получить для ПИ управления из уравнения $Im_1(\omega_{1,1}^2)\delta_{VI}$ — $- \text{Re}_{1}(\omega_{1,1}^{2})\delta_{\Pi 1} = \delta > 0$, а для ПИД управления из уравнения ${\rm Im}_1(\omega_{1,1}^2)\delta_{\rm M1} - {\rm Re}_1(\omega_{1,1}^2)\delta_{\Pi 1} -\omega_{1,1}^2 \operatorname{Im}_1(\omega_{1,1}^2) \delta_{\Pi 1} = \delta_1 > 0$. Из этих уравнений, задавшись вариацией, например, $\delta_{\Pi I} = 0$, для ПИ управления и вариациями $\delta_{\Pi 1}=0$ и $\delta_{\Pi 1}=0$ для ПИД управления, неизвестную вариацию δ_{W1} найдем из уравнения $\delta_{\text{И}1} = \delta_1 \text{Im}_1^{-1}(\omega_{1,1}^2)$, если $\text{Im}_1(\omega_{1,1}^2) \neq 0$. В этом случае $k_{\Pi 1}=k_{\Pi 0},\,k_{\Pi 1}=k_{\Pi 0}+\delta_{\Pi 1},\,k_{\Pi 1}=k_{\Pi 0}$ и годограф (13) уже при $I=I_1>I_0$ будет соответствовать устойчивой системе (1), (2) или (1), (3).

Повторяя описанную процедуру несколько раз, на некотором g-м шаге при $I=I_g>I_1$ получим в качестве крайних правых корней полинома (5) или (11) на прямой $\lambda_1=0$ плоскости корней λ полинома (6) или (11) дополнительные корни, которые задаются одной из трех структур:

— равенство нулю корней полиномов (6) или (12) на нулевой частоте $\omega = \omega_{1, g} = 0$, когда $\operatorname{Re} D_{1(n+1)}(0) = 0$, и $\omega^{-1} \operatorname{Im} D_{1(n+1)}(i\omega) = 0$ при $\omega = 0$, что соответствует одному крайнему правому действительному корню кратности два полинома (5) или (11);

— равенство нулю корня на нулевой частоте $\omega=\omega_{1,\,g}=0$, когда $\mathrm{Re}D_{1(n+1)}(0)=0$, и $\omega^{-1}\mathrm{Im}D_{1(n+1)}(i\omega)>0$ при $\omega=\omega_{1,\,g}=0$, и равенство нулю модуля корня на частоте $\omega=\omega_{2,\,g}>0$, когда $\mathrm{Re}D_{1(n+1)}(i\omega_{2,\,g})=0$ и $\omega_{2,\,g}^{-1}\mathrm{Im}D_{1(n+1)}(i\omega_{2,\,g})=0$, что соответствует одному действительному корню кратности один и комплексной паре корней полинома (6) или (11), расположенных на прямой $\lambda_1=0$ плоскости корней λ_1 полинома (6) или (11); — равенство нулю модулей корней полинома (6) или (11) на частотах $\omega=\omega_{1,\,g}>0$ и $\omega=\omega_{2,\,g}>\omega_{1,\,g}>$

12



> 0, когда $\mathrm{Re}D_{1(n+1)}(i\omega_{1,\,g})=0,\,\omega_{1,\,g}^{-1}\,\mathrm{Im}D_{1(n+1)}(i\omega_{1,\,g})=$ = 0, $\mathrm{Re}D_{1(n+1)}(i\omega_{2,\,g})=0$ и $\omega_{2,\,g}^{-1}\,\mathrm{Im}D_{1(n+1)}(i\omega_{2,\,g})=0$, при которых крайними правыми корнями полинома (5) или (11) являются две комплексные пары корней. Эти пары, вообще говоря, могут образовывать одну комплексную пару корней кратности два при $\omega_{2,\,g}=\omega_{1,\,g}>0$.

Вариации настроек, приводящие к увеличению степени устойчивости систем (1), (2) или (1), (3) во всех этих трех структурах, были рассмотрены ранее (см. табл. 1 и 2). Указанные ситуации относились как к ПИ, так и к ПИД управлению, но в случае ПИД управления вариацию $\delta_{\text{Д1}}=0$ дифференциальной составляющей $k_{\text{Д}}=k_{\text{Д1}}$ в (3) следует брать нулевой.

При дальнейшем увеличении I от значения $I=I_g$ на прямой $\lambda_1=0$ плоскости корней λ_1 полинома (6) или (11) будут появляться дополнительные корни полиномов (5) или (10), и оптимизация настроек при ПИД управлении (3) и таком числе этих корней будет невозможной без вариации $\delta_{\rm Д}$ дифференциальной составляющей $k_{\rm Д}$. Все возможные варианты увеличения степени устойчивости системы (1), (3) в зависимости от числа крайних правых корней полинома (11) были рассмотрены в указанных выше случаях.

Рассмотренный способ увеличения степени устойчивости систем (1), (2) или (1), (3) сравнительно просто может быть реализован путем разработки соответствующих программных средств. Процесс увеличения степени устойчивости естественным образом заканчивается, когда при ПИ управлении крайние правые корни полинома (6) определяют одну из 7 структур, описанных в работе [7], а при ПИД управлении крайние правые корни полинома (12) определяют одну из 10 структур, описанных в работах [8, 9]. Разработанные программные средства обеспечивают автоматический поиск оптимальных по степени устойчивости решений, в результате которого определяются оптимальные настроечные параметры, степень устойчивости, крайние правые корни соответствующих полиномов и вид годографа, позволяющий определить тип вырождения, препятствующий дальнейшему увеличению степени устойчивости системы. Рассмотренный способ машинной оптимизации параметров может быть одинаково эффективным при работе с объектами, которые описываются конечномерными дифференциальными уравнениями, так и с объектами, в описание которых входит запаздывающий аргумент, что позволит ему найти широкое практическое применение.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показана возможность определения вариаций настроечных параметров как в ПИ-, так и в ПИД-регуляторах, обеспечивающих увеличение степени устойчивости замкнутых систем управления. Итерационный процесс поиска таких вариаций может быть организован в автоматическом режиме с помощью специально разработанных программ. В результате автоматического поиска определяются значение максимальной степени устойчивости, соответствующие ей настроечные параметры регулятора, значения крайних правых корней оптимального полинома и вид соответствующего этим корням годографа.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Неймарк Ю.И*. Устойчивость линеаризованных систем. Л.: ЛКВВИА, 1949.
- 2. *Неймарк Ю.И.* Динамические системы и управляемые процессы. М.: Наука, 1978.
- 3. *Поляк Б.Т., Щербаков П.С.* Робастная устойчивость и управление. М.: Наука, 2002.
- 4. *Грязина Е.Н*. К теории D-разбиения // Автоматика и телемеханика. 2004. № 12. С. 15—28.
- Шубладзе А.М. Достаточные условия экстремума в системах максимальной степени устойчивости. I // Автоматика и телемеханика. 1997. № 3. С. 93—105.
- 6. Шубладзе А.М. Достаточные условия экстремума в системах максимальной степени устойчивости. II // Там же. 1997. № 8. С. 67—79.
- Исследование оптимальных по степени устойчивости решений при ПИ управлении / А.М. Шубладзе, В.Е. Попадько, С.И. Кузнецов, А.А. Якушева // Проблемы управления. 2008. № 2. С. 12—20.
- Исследование оптимальных по степени устойчивости решений при ПИД управлении. Часть 1 // Управление большими системами. 2008. Вып. 22. С. 86—100. Режим доступа: http://ubs.mtas.ru/.
- 9. *Исследование* оптимальных по степени устойчивости решений при ПИД управлении. Часть 2. / А.М. Шубладзе, В.Е. Попадько, С.И. Кузнецов и др. // Управление большими системами. 2009. Вып. 23. С. 39—55. Режим доступа: http://ubs.mtas.ru/.

Статья представлена к публикации членом редколлегии A.Г. Бутковским.

Бобриков Николай Михайлович — нач. департамента, ОАО «Газавтоматика», **☎**(499) 580-41-08,

Денисов Игорь Константинович — гл. инженер проекта, ОАО «Газавтоматика», $\mathbf{2}$ (499) 580-41-19,

Кузнецов Сергей Иванович — ген. директор ОАО «НИИТЕПЛОПРИБОР», **☎**(495) 999-18-16,

Шубладзе Александр Михайлович — зав. лабораторией, д-р техн. наук, профессор, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ☎(495) 334-88-81, e-mail: shub@ipu.rssi.ru.



УДК 517.977

H_{∞} -УПРАВЛЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ В АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ 1 .

4. 2. Синтез робастного регулятора для управления энергетической системой

А.П. Курдюков, В.Н. Тимин

Вторая часть статьи посвящена решению задачи подавления влияния внешних возмущений в энергетической системе на ее выход. Эта задача решается на основе метода размещения полюсов замкнутой системы в заданной области на комплексной плоскости и H_{∞} -метода формирования контура с помощью аппарата линейных матричных неравенств. Дано сравнение свойств замкнутых систем с регуляторами, синтезированными с применением и без применения H_{∞} -метода формирования контура.

Ключевые слова: управление энергетической системой, H_{∞} -теория управления, линейные матричные неравенства, подавление возмущений, H_{∞} -метод формирования контура, расположение полюсов передаточной функции замкнутой системы в заданной области на комплексной плоскости.

ВВЕДЕНИЕ

В первой части [1] настоящей статьи рассмотрены теоретические основы синтеза робастного H_{∞} -регулятора, а именно: определение H_{∞} -нормы, постановка и решение задач H_{∞} -оптимизации и робастной стабилизации с помощью аппарата линейных матричных неравенств, H_{∞} -метод формирования контура и метод расположения полюсов передаточной функции замкнутой системы в заданной выпуклой области на комплексной плоскости.

Во второй части статьи предложен метод решения задачи подавления внешних возмущений и решена задача синтеза регулятора в энергетической системе для подавления внешних возмущений. Метод синтеза H_{∞} -оптимального регулятора с размещением полюсов передаточной функции замкнутой системы в ограниченной выпуклой области на комплексной плоскости позволяет задавать требования только к качеству переходных процессов (быстродействие и запас устойчивости). В предлагаемом методе при минимизации H_{∞} -нормы передаточной функции замкнутой системы по-

3. МОДЕЛЬ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ²

3.1. Описание модели

Укрупненная схема модели рассматриваемой энергетической системы (ЭС) [2] приведена на рис. 6. Схема соединений модели выполнена в системе Matlab с помощью стандартных библиотечных блоков моделирования энергетической

мимо ограничений на размещение полюсов накладываются дополнительные частотные ограничения. Они состоят в частотных ограничениях на сингулярные числа передаточной функции разомкнутой системы. Способ формирования частотных ограничений состоит в построении желаемого обобщенного объекта. Формирующие функции, участвующие в построении желаемого обобщенного объекта, позволяют модифицировать форму контура разомкнутой системы. Это, в свою очередь, позволяет решать задачи подавления шумов и возмущений на входе и выходе объекта управления, повышения робастности к неопределенности в модели объекта и придания замкнутой системе астатических свойств.

 $^{^{1}}$ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 06-08-01468).

² Нумерации разделов, рисунков и формул ч. II статьи продолжают нумерации ч. I.



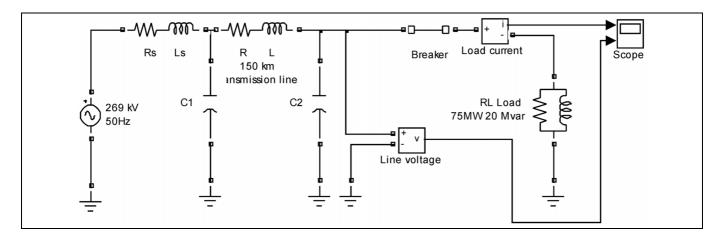


Рис. 6. Simulink-схема модели энергетической системы

системы SimPowerSystems среды Simulink. Модель состоит из генератора (269 кВ, 50 Гц), системы управления (регулятора), линии передачи протяженностью 150 км с активным (R=5,2 Ом) и индуктивным (L=0,138 Гн) сопротивлением, подводящих проводов ($R_S=5,2$ Ом, $L_S=0,138$ Гн), емкостей C_1 в начале и C_2 в конце линии передачи ($C_1=C_2=0,967$ мкФ), высоковольтного выключателя Breaker и нагрузки (75 МВт, 20 Мвар). Дополнительно на схеме изображены измерители тока Load current и напряжения Line voltage. Изменения тока и напряжения во времени выводятся в виде графиков с помощью блока визуализации Scope. Система управления на схеме не изображена.

Линеаризованная модель ЭС вблизи номинального режима работы описывается системой дифференциальных уравнений вида

$$\dot{x} = Ax + B_w w + B_u u,$$

$$y_0 = C_v x + D_w w.$$
(3.1)

Дополнительное управление u, реализуемое синтезированным H_{∞} -регулятором, подается на выход генератора для компенсации возмущения w — отклонения тока через высоковольтный выключатель. Выход объекта $y = (y_{01}, y_{02})^T$, где y_{01} и y_{02} —

отклонения напряжения на высоковольтном выключателе и в линии передачи соответственно.

Матрицы модели (3.1) имеют вид:

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1,034 \cdot 10^6 & -1,034 \cdot 10^6 & 0\\ 0 & 0 & -1,034 \cdot 10^6 & 0 & 0\\ -7,246 & 7,246 & -37,68 & 0 & 0\\ 14,25 & 0 & 0 & -37,68 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & -100.5 \end{bmatrix},$$

$$B_{w} = \begin{bmatrix} 0 \\ 1,034 \cdot 10^{6} \\ 0 \\ 0 \\ 100.5 \end{bmatrix}, \quad B_{u} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 14,25 \end{bmatrix},$$

$$C_y = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 & 235, 1 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \ D_w = \begin{bmatrix} -235, 1 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Линейную динамическую модель ЭС (3.1) будем называть объектом управления. У него один управляемый вход u и два выхода y_{01} и y_{02} , на него действует одно входное внешнее возмущение w.

Объекту управления соответствуют матричные передаточные функции $G(s) = C_y(sI-A)^{-1}B_u$ от управления u к выходу y_0 и $G_w(s) = C_y(sI-A)^{-1}B_w + D_w$ от возмущения w к выходу y_0 ; I — единичная матрица.

3.2. Анализ модели

Объект управления (3.1) устойчив, поскольку собственные значения матрицы состояния A (корни ее характеристического полинома) $\lambda_{1,2}(A) = -18,84 \pm 5036,6i$, $\lambda_{3,4}(A) = -18,84 \pm 2086i$, $\lambda_5(A) = -100,5$. Матрица A характеризуется плохой



обусловленностью, так как порядок ее числа обусловленности 10^5 . Значения действительных и соотношения мнимых и действительных частей корней определяют слабое затухание и высокую колебательность (слабое демпфирование) объекта. Это подтверждается видом переходных процессов при единичных входных воздействиях по возмущению w (рис. 7) и входу u (рис. 8). Сравнительный анализ графиков переходных процессов показывает, что возмущение w вызывает существенно более сильные по амплитуде (примерно на два порядка) колебания выхода объекта (отклонение напряжения V на высоковольтном выключателе и отклонение напряжении в линии передачи).

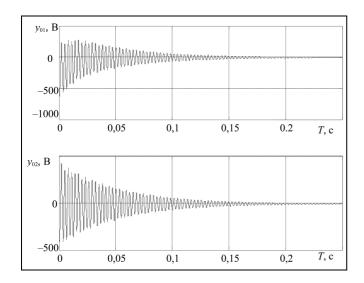


Рис. 7. Реакция объекта управления на единичное воздействие по возмушению w

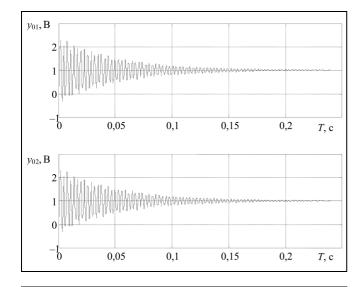


Рис. 8. Реакция объекта управления на единичное воздействие по управлению u

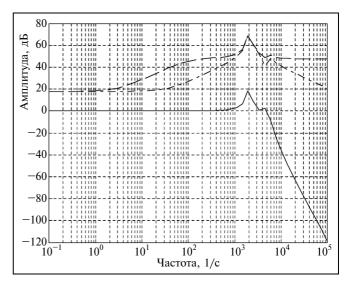


Рис. 9. Логарифмические амплитудно-частотные характеристики передаточных функций G(s) и $G_{w}(s)$

Численный анализ управляемости по ранговому критерию Калмана с помощью пакета Matlab показал, что объект является наблюдаемым, но неуправляемым. Однако применение ленточных критериев управляемости и наблюдаемости [3] для сбалансированной реализации объекта управления позволило установить [2], что он управляемый.

Рассмотрим частотные свойства объекта управления. На рис. 9 приведены графики логарифмических амплитудно-частотных характеристик (ЛАХ) передаточной функции $G_w(s)$ от возмущения w к выходам объекта y_{01} (штриховая линия) и y_{02} (штрих-пунктирная) и передаточной функции G(s) от управления u к выходам объекта y_{01} и y_{02} (сплошная линия). Передаточные функции от u к y_{01} и y_{02} тождественны, поэтому их графики ЛАХ совпадают.

На низких частотах коэффициент усиления объекта G(s) до частоты примерно $100 \, \mathrm{c}^{-1}$ равен единице. На графике наблюдается два резонансных пика. Наиболее сильный из них на частоте $2086 \, \mathrm{c}^{-1}$ достигает примерно $18 \, \mathrm{д}$ Б. Поведение графиков ЛАХ $G_w(s)$ показывает, что возмущение w воздействует на выходы объекта y_{01} и y_{02} существенно различно. Если по выходу y_{02} полоса пропускания ограничена, то по выходу y_{01} такого не наблюдается. Отметим, что в силу ненулевого элемента матрицы D_w коэффициент усиления передаточной функции $G_w(s)$ от w к y_{01} после частоты примерно $10 \, 000 \, \mathrm{c}^{-1}$ имеет постоянное значение (примерно $47 \, \mathrm{д}$ Б). Резонансный пик ЛАХ $G_w(s)$ по

16 CONTROL SCIENCES № 2 • 2009



каждому выходу составляет примерно 69 дБ. В области низких частот коэффициент усиления примерно 18 дБ. Таким образом, модель ЭС имеет слабое затухание и высокую колебательность (слабое демпфирование) при наличии двух резонансных частот, а на низких частотах коэффициент усиления по управлению u равен единице.

4. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Дан объект управления (модель ЭС), описываемый в пространстве состояний системой уравнений (3.1).

Требуется синтезировать регулятор K(s) полного порядка в виде динамической обратной связи U(s) = K(s) Y(s) по измеряемому выходу y, гарантирующий устойчивость замкнутой системы и для управляемого выхода y_0 обеспечивающий:

- переходные процессы, близкие к апериодическим:
- время регулирования, не превышающее заданного значения;
- высокий запас устойчивости замкнутой системы. Регулятор K(s) ищется в пространстве состояний в форме наблюдателя

$$\dot{x}_C = A_c x_c + B_c y,$$

$$u = C_c x_c + D_c y.$$

5. *H*_∞-СИНТЕЗ С ОГРАНИЧЕНИЕМ НА РАЗМЕЩЕНИЕ ПОЛЮСОВ

Основная идея метода, изложенного в работе [4] и применяемого далее, состоит в минимизации функционала качества с ограничением на принадлежность некоторому множеству, т. е. в условной минимизации функционала. Функционалом качества служит H_{∞} -норма передаточной функции замкнутой системы, а множеством выступает выпуклая область на комплексной плоскости. задающая ограничение на размещение полюсов передаточной функции замкнутой системы. Применение аппарата линейных матричных неравенств (ЛМН) позволило свести задачу синтеза H_{∞} -оптимального регулятора с размещением полюсов передаточной функции замкнутой системы в ограниченной выпуклой области на комплексной плоскости к решению системы ЛМН (см. п. 2.2 и п. 2.4 первой части [1] настоящей статьи).

Рассмотрим постановку и решение задачи синтеза H_{∞} -регулятора для управления ЭС в соответствии с методом, предложенным в работе [4].

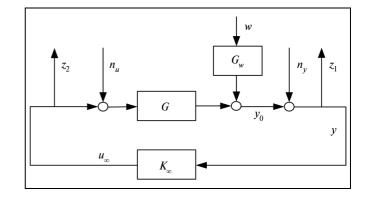


Рис. 10. Замкнутая система управления энергетической системы

Структурная схема замкнутой системы управления, используемая при синтезе H_{∞} -регулятора, представлена на рис. 10. Внешними входами замкнутой системы являются внешнее возмущение w на выходе объекта, возмущение на входе объекта n_u и шум измерений n_y . Выходом z_1 замкнутой системы является измеряемый выход объекта y, а выходом z_2 — управление u_{∞} , формируемое регулятором K_{∞} ; G — передаточная функция от управления к выходу объекта y_0 , а G_w — передаточная функция от возмущения w к выходу объекта y_0 .

Замкнутой системе управления соответствует стандартный объект вида

$$\begin{bmatrix} z_1(s) \\ z_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(s) \\ u_{\infty}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} G_w & G & I_y \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w(s) \\ n_u(s) \\ n_y(s) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} G \\ I_u \end{bmatrix} u_{\infty}(s),$$

$$y(s) = [G_w \ G \ I_y] \begin{bmatrix} w(s) \\ n_u(s) \\ n_y(s) \end{bmatrix} + [G] u_{\infty}(s), \qquad (5.1)$$

где I_{y} и I_{u} — единичные матрицы соответствующей размерности.

В принятых в уравнениях (2.1) [1] обозначениях многомерные передаточные функции имеют вид

$$P_{11} = \begin{bmatrix} G_w & G & I_y \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad P_{12} = \begin{bmatrix} G \\ I_u \end{bmatrix},$$

$$P_{21} = [G_w \ G \ I_y], \quad P_{22} = [G].$$

Передаточная функция замкнутой системы T_{w_1z} от всех внешних входов $w_1 = [w^T,\ n_u^{\ T},\ n_y^{\ T}]^T$ к



выходам замкнутой системы $z = [y^T, u_{\infty}^{\ T}]^T$ имеет вил

$$T_{w,z} = \tag{5.2}$$

$$= \begin{bmatrix} (I - GK_{\infty})^{-1} G_{w} & (I - GK_{\infty})^{-1} G & (I - GK_{\infty})^{-1} \\ K_{\infty} (I - GK_{\infty})^{-1} G_{w} & K_{\infty} (I - GK_{\infty})^{-1} G & K_{\infty} (I - GK_{\infty})^{-1} \end{bmatrix}.$$

Описанию стандартного объекта в виде передаточных функций (5.1) в пространстве состояний соответствует описание вида

$$\dot{x} = Ax + B_1 + B_2 u,$$

$$z = C_1 x + D_{11} w + D_{12} u,$$

$$y = C_2 x + D_{21} w + D_{22} u,$$
(5.3)

где матрицы стандартного объекта включают в себя матрицы представления в пространстве состояний номинального объекта G и передаточной функции G_{w} .

Сформулируем постановку задачи [4]. Рассмотрим стандартный объект управления в пространстве состояний (5.3). Для заданной ЛМН-области (см. рис. 4 [1])

$$D = \{ z \in C^-: L + zM + \overline{z}M^T \}$$
 (5.4)

требуется найти динамический регулятор полного порядка

$$K_{\infty} := \begin{cases} \dot{x}_{c\infty} = A_{c\infty} x_{c\infty} + B_{c\infty} y, \\ u_{\infty} = C_{c\infty} x_{c\infty} + D_{c\infty} y, \end{cases}$$
(5.5)

обеспечивающий:

• выполнение равенства

$$||T_{w_1z}(G, K_{\infty})||_{\infty} = \gamma_{\min}$$
 (5.6)

для H_{∞} -нормы передаточной функции (5.2) замкнутой системы;

• размещение полюсов передаточной функции замкнутой системы в выпуклой области *D*.

Решение H_{∞} -оптимальной задачи (5.6) при ограничении на размещение полюсов передаточной функции замкнутой системы в заданной ЛМН-области (5.4) (см. рис. 4 [1]), описываемой характеристической функцией (2.4), сводится к решению системы ЛМН (5.7 — 5.9).

Система ЛМН имеет следующий вид:

$$\begin{bmatrix} R & I \\ I & S \end{bmatrix} > 0, \tag{5.7}$$

$$\left[L \otimes \begin{bmatrix} R & I \\ I & S \end{bmatrix} + M \otimes \Phi + M^T \otimes \Phi^T \right] < 0, \quad (5.8)$$

$$\begin{bmatrix} \Psi_{11} & \Psi_{21}^T \\ \Psi_{21} & \Psi_{22} \end{bmatrix} < 0, \tag{5.9}$$

гле

$$\Phi = \begin{bmatrix} AR + B_2 C_{c\infty} & A + B_2 D_{c\infty} C_2 \\ \hat{A}_c & SA + \hat{B}_c C_2 \end{bmatrix},$$

$$\Psi_{11} = \begin{bmatrix} AR + RA^{T} + B_{2}\hat{C}_{c} + \hat{C}_{c}^{T}B_{2}^{T} & B_{1} + B_{2}D_{c\infty}D_{21} \\ (B_{1} + B_{2}D_{c\infty}D_{21})^{T} & -\gamma I \end{bmatrix},$$

$$\Psi_{21} = \begin{bmatrix} \hat{A}_c + (A + B_2 D_{c\infty} C_2)^T & SB_1 + \hat{B}_c D_{21} \\ C_1 R + D_{12} \hat{C}_c & D_{11} + D_{12} D_{c\infty} D_{21} \end{bmatrix},$$

$$\Psi_{22} = \begin{bmatrix} A^T S + S A + \hat{B}_c C_2 + C_2^T \hat{B}_c^T & (C_1 + D_{12} D_{c\infty} C_2)^T \\ C_1 + D_{12} D_{c\infty} C_2 & \gamma I \end{bmatrix},$$

символ \otimes означает кронекерово произведение матриц.

Регулятор вида (5.5) определяется минимальным значением γ , при котором существуют две симметричных матрицы R и S и матрицы \hat{A}_c , \hat{B}_c , \hat{C}_c и $D_{c\infty}$.

Если ЛМН (5.7—5.9) разрешимы, то матрицы регулятора (5.5) $A_{c\infty}$, $B_{c\infty}$ и $C_{c\infty}$ определяются из решения системы линейных уравнений

$$\hat{B}_c = NB_{c\infty} + SB_2D_{c\infty},$$

$$\hat{C}_c = C_{c\infty}M^T + D_{c\infty}C_2R,$$

$$\hat{A}_c = NA_{c\infty}M^T + NB_{c\infty}C_2R + SB_2C_{c\infty}M^T + S(A + B_2D_{c\infty}C_2)R,$$
(5.10)

где M и N — любые квадратные матрицы, такие что

$$MN^T = I - RS. (5.11)$$

Линейные матричные неравенства (5.7-5.9) решаются численно с помощью методов, описанных в работах [5, 6].



6. H_∞-CNHTE3 C ОГРАНИЧЕНИЕМ НА РАЗМЕЩЕНИЕ ПОЛЮСОВ И ЧАСТОТНЫМ ОГРАНИЧЕНИЕМ

В данной работе предлагается модификация метода синтеза H_{∞} -оптимального регулятора с размещением полюсов передаточной функции замкнутой системы в ограниченной выпуклой области на комплексной плоскости [4]. При минимизации функционала предлагается наложить еще один вид ограничения. Он состоит в частотных ограничениях на сингулярные числа передаточной функции разомкнутой системы, идеология формирования которых сформулирована в работе [7] при описании H_{∞} -метода формирования контура (высокий коэффициент усиления на низких частотах, малый коэффициент усиления на высоких частотах, плавный переход в области частот среза с наклоном, близким к -20 дБ на декаду). Таким образом, предлагается метод синтеза регулятора, при котором минимизируется H_{∞} -норма передаточной функции замкнутой системы с учетом ограничений на размещение полюсов передаточной функции замкнутой системы и частотных ограничений на сингулярные числа передаточной функции разомкнутой системы. Способ формирования частотных ограничений состоит в построении желаемого поведения графиков сингулярных чисел разомкнутой системы (см. п. 2.6 [1]), а не в задании ограничений в виде неравенств снизу и сверху на графики сингулярных чисел (см. рис. 2). Желаемое поведение сингулярных чисел, по аналогии с $H_{\scriptscriptstyle{\infty}}$ -методом формирования контура, задается в виде обобщенного объекта (см. п. 2.6). Одной из мер «близости» сингулярных чисел разомкнутой системы и обобщенного объекта может выступать значение H_{∞} -нормы передаточной функции замкнутой системы (см. п. 2.6).

Рассмотрим постановку и решение задачи синтеза H_{∞} -регулятора для управления ЭС.

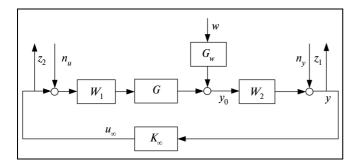


Рис. 11. Замкнутая система управления с формирующими функциями

Структурная схема замкнутой системы управления приведена на рис. 11. Она отличается от схемы, изображенной на рис. 10, только тем, что в структурной схеме введены формирующие передаточные функции: префильтр W_1 и постфильтр W_2 .

Замкнутой системе управления соответствует стандартный объект вида

$$\begin{bmatrix} z_1(s) \\ z_2(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y(s) \\ u_{\infty}(s) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} W_2 G_w & W_2 G W_1 & I_y \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} w(s) \\ n_u(s) \\ n_y(s) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} W_2 G W_1 \\ I_u \end{bmatrix} u_{\infty}(s),$$

$$y(s) = [W_2 G_w \ W_2 G W_1 \ I_y] \begin{bmatrix} w(s) \\ n_u(s) \\ n_y(s) \end{bmatrix} + W_2 G W_1 u_{\infty}(s)$$
 (6.1)

Соответствующие блоки матрицы передаточной функции стандартного объекта (2.1) [1] имеют вил

$$\begin{split} P_{11} &= \begin{bmatrix} W_2 G_w & W_2 G W_1 & I_y \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad P_{12} &= \begin{bmatrix} W_2 G W_1 \\ I_u \end{bmatrix}, \\ P_{21} &= \begin{bmatrix} W_2 G_w & W_2 G W_1 & I_y \end{bmatrix}, \\ P_{22} &= W_2 G W. \end{split}$$

Передаточная функция замкнутой системы T_{w_1z} от всех внешних входов $w_1 = [w^T, n_u^T, n_y^T]^T$ к выходам замкнутой системы $z = [y^T, u_\infty^T]^T$ задается формулой

$$T_{w_1 z} = \tag{6.2}$$

$$= \begin{bmatrix} (I - G_s K_{\infty})^{-1} W_2 G_w & (I - G_s K_{\infty})^{-1} G_s & (I - G_s K_{\infty})^{-1} \\ K_{\infty} (I - G_s K_{\infty})^{-1} W_2 G_w & K_{\infty} (I - G_s K_{\infty})^{-1} G_s & K_{\infty} (I - G_s K_{\infty})^{-1} \end{bmatrix},$$

где $G_{\rm s} = W_2 G W_1 - {\rm o}$ обобщенный объект.

Описанию стандартного объекта в виде передаточных функций (6.1) в пространстве состояний соответствует описание вида

$$\dot{x} = Ax + B_1 w + B_2 u,$$

$$z = C_1 x + D_{11} w + D_{12} u,$$

$$y = C_2 x + D_{21} w + D_{22} u,$$
(6.3)

где матрицы стандартного объекта включают в себя матрицы представления в пространстве состоя-



ний не только номинального объекта G и передаточной функции $G_{_{\! W}}$, но и формирующих функций $W_{_1}$ и $W_{_2}$.

Рассмотрим постановку задачи синтеза. Дан стандартный объект управления, представленный в пространстве состояний в виде (6.3). Для заданной ЛМН-области

$$D = \{z \in C^-: L + zM + \bar{z}M^T\}$$

требуется найти динамический регулятор полного порядка

$$K(s) := \begin{cases} \dot{x}_c = A_c x_c + B_c y, \\ u_{\infty} = C_c x_c + D_c y, \end{cases}$$
(6.5)

обеспечивающий:

• выполнение равенства

$$||T_{w_1z}(G_S, K_{\infty})||_{\infty} = \gamma_{\min}$$
 (6.6)

для H_{∞} -нормы передаточной функции замкнутой системы:

- размещение полюсов передаточной функции замкнутой системы в выпуклой области *D*;
- частотные ограничения на сингулярные числа разомкнутой системы.

Алгоритм синтеза состоит из следующих шагов. *Шаг 1. Формирование требований*. Задаются:

- ЛМН-область, в которой требуется обеспечить размещение полюсов передаточной функции замкнутой системы;
- префильтр $W_1(s)$ и постфильтр $W_2(s)$ и формируется обобщенный объект $G_s = W_2 G W_1$, задающий требования к желаемым сингулярным числам разомкнутой системы.

Шаг 2. Оценка совместимости требований. Решается задача H_{∞} -оптимизации для обобщенного объекта $G_s = W_2 GW_1$ по методике, описанной в § 5. Решается система ЛМН (5.7—5.9) для стандартного объекта вида (6.3), которому соответствует представление стандартного объекта с помощью передаточных функций (6.1).

Если решения R, S, \hat{A}_c , \hat{B}_c , \hat{C}_c , $D_{c\infty}$ ЛМН (5.7—5.9) не существует, то возврат к шагу 1, иначе вычисляется K_{∞} -регулятор с учетом соотношений (5.10), (5.11), и переход к шагу 3.

Шаг 3. Синтез регулятора:

- вычисляется регулятор K в виде $K = W_1 K_{\infty} W_2$;
- если требования к качеству функционирования замкнутой системы по ее свойствам во временной и частотной областях не удовлетворяются, то возврат к шагу 1, иначе — окончание алгоритма.

Рассмотрим некоторые модификации предложенного метода:

- если $W_1(s)$ и $W_2(s)$ единичные матрицы соответствующих размерностей, то предложенный метод эквивалентен методу, описанному в $\S 5$ (H_{∞} -синтез с ограничением на размещение полюсов замкнутой системы). В этом случае $G_s = W_2 G W_1 = G$, т. е. обобщенный объект совпадает с номинальным;
- если отсутствует входное возмущение w, т. е. $w(t) \equiv 0$, то предложенный метод эквивалентен H_{∞} -методу формирования контура с ограничением на размещение полюсов замкнутой системы [8]. В этом случае передаточная функция замкнутой системы (6.2) принимает вид (2.12) и выполняются условия (2.15) [1].

Таким образом, предложенный метод обобщает два указанных метода.

Рассмотрим последовательность шагов алгоритма. На первом шаге задаются требования к проектируемой замкнутой системе. Несогласованность для номинального объекта G требований в виде формы ЛМН-области и формирующих функций приводит либо к отсутствию решений системы ЛМН (5.7—5.9), либо к достаточно большому мкнутой системы. Существование решения задачи H_{∞} -оптимизации, выполняемой на втором шаге алгоритма, гарантирует устойчивость замкнутой системы. В случае существования решения задачи H_{∞} -оптимизации на третьем шаге определяется искомый регулятор в виде комбинации K_{∞} -регулятора, префильтра W_1 и постфильтра W_2 . Напомним, что форма ЛМН-области задает ограничения на параметр затухания (коэффициент демпфирования), степень устойчивости и максимальную угловую частоту собственных колебаний замкнутой системы. Эти ограничения при синтезе регулятора должны выполняться строго. При невыполнении заданных ограничений не будет существовать решений системы ЛМН (5.7—5.9). Частотные ограничения на сингулярные числа разомкнутой системы выполняются не строго, а с некоторой точностью. Одной из возможных оценок этой точности может служить значение H_{∞} -нормы передаточной функции замкнутой системы (см. п. 2.6 [1]). Дополнительно возможна проверка качества функционирования замкнутой системы по ее частотным свойствам. Для этого необходимо рассмотреть частотные свойства полученной замкнутой системы в аспекте оценки точностных характеристик, оценки запаса устойчивости по амплитуде и фазе и (или) показателю колебательности, оценки чувс-



твительности к внешним возмущениям и шумам, а также робастной устойчивости замкнутой системы.

В случае существования решения и не вполне удовлетворительного качества функционирования замкнутой системы разработчик в процессе итерационной процедуры имеет возможность варьировать пятью «параметрами» алгоритма, а именно:

- коэффициентом демпфирования или колебательности,
 - степенью устойчивости;
- максимальной частотой собственных колебаний, задавая форму ЛМН-области;
- двумя формирующими функциями $W_1(s)$ и $W_2(s)$.

Принятие решения об окончании процедуры синтеза регулятора остается за разработчиком. В предложенном итерационном методе качество переходных процессов (быстродействие и запас устойчивости) задаются формой ЛМН-области на комплексной плоскости. Это обеспечивает переходные процессы, близкие к апериодическим, в соответствии с заданным значением колебательности или параметра затухания, а время переходного процесса характеризуется заданной степенью устойчивости. Для уменьшения влияния внешних возмущений и шума измерений вводятся формирующие функции $W_1(s)$ и $W_2(s)$, которые модифицируют форму сингулярных чисел исходного номинального объекта G(s) в области низких и высоких частот в соответствии с требованиями проектировщика.

Алгоритм синтеза искомого регулятора можно рассматривать как метод, в котором передаточная функция регулятора представлена в виде произведения передаточных функций неизменяемой и изменяемой частей. Таким образом, разработчик предписывает некоторые свойства проектируемому регулятору и, соответственно, замкнутой системе в нужных частотных диапазонах. Неизменяемая часть регулятора задается префильтром $W_1(s)$ и постфильтром $W_2(s)$. Постфильтр $W_2(s)$ предназначен в первую очередь для подавления шума и характеризует поведение системы в высокочастотной области. Обычно он реализуется с помощью низкополосных фильтров. Префильтр $W_1(s)$ задает поведение системы в области низких частот и может быть выбран в виде пропорциональных и интегральных фильтров. Изменяемая часть регулятора получается автоматически в результате минимизации H_{∞} -нормы передаточной функции замкнутой системы.

7. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ СИНТЕЗА

Предложенный метод (см. § 6) сравнивался с методом, описанным в § 5 [4]. В качестве ЛМН-области (см. рис. 4) была выбрана область на комплексной плоскости, которая образована пересечением двух полуплоскостей и сектора. Она определяется характеристической функцией (2.4).

Численное решение задачи синтеза реализовано в системе Matlab с применением программы hinfmix из пакета решения линейных матричных неравенств LMI Control Toolbox.

Вычислительные эксперименты по синтезу регулятора обоими методами показали, что переместить полюс $\lambda_5(A)=-100,5$ номинального объекта G не представляется возможным. При задании ограничений на степень устойчивости $\eta > 100,5$ замкнутой системы решений системы ЛМН не существует, а, следовательно, не существует и регулятора, обеспечивающего заданную степень устойчивости.

Таким образом, заданная степень устойчивости η в обоих методах была выбрана равной 100. Ее определяет первая полуплоскость $\text{Re}(\lambda) < -100$. Вторая полуплоскость $\text{Re}(\lambda) > -20~000$ ограничивает максимальную угловую частоту собственных колебаний $\omega_0 = 20~000 \cdot \text{tg} \phi$. Отметим, что значение угла ϕ в обоих методах различно.

Рассмотрим синтез регулятора методом, представленным в работе [4]. Для краткости назовем его методом без формирующих функций. Минимальное ограничение на значение угла φ , а, следовательно, колебательности, было достигнуто $3\pi/10$. При меньших значениях угла φ H_{∞} -регулятора, минимизирующего H_{∞} -норму передаточной функции замкнутой системы, не существует. Значение H_{∞} -нормы замкнутой системы было получено равным 916,36. Корни характеристического полинома или собственные значения матрицы A_{cl} замкнутой системы с данным регулятором $\lambda_1 = -1,005 \cdot 10^2$, $\lambda_2 = -1,33 \cdot 10^2$, $\lambda_3 = -1,77 \cdot 10^3$, $\lambda_{4,5} = -2,53 \cdot 10^3$ \pm \pm 2,63 \cdot 10 3 *i*, $\lambda_{6,7} = -3,94 \cdot 10^3$ \pm 2,50 \cdot 10 3 *i*, $\lambda_8 = -9,30 \cdot 10^3$, $\lambda_9 = -1,04 \cdot 10^4$, $\lambda_{10} = -1,66 \cdot 10^4$.

Как видно из этих значений, максимальная колебательность $\mu_{max} = Im(\lambda_{4,5})/Re(\lambda_{4,5})$ составляет 1,04, что соответствует параметру затухания (коэффициенту демпфирования) 0,69.

Проведем анализ результатов синтеза регулятора в соответствии с предложенным методом. Для краткости назовем его методом с формирующими функциями.

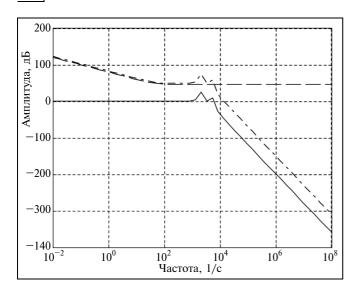


Рис. 12. Максимальные сингулярные числа обобщенного G_s (штрих-пунктирная линия) и номинального G (сплошная линия) объектов и префильтра W_1 (штриховая линия)

Обобщенный объект G_s получен при выборе префильтра $W_1(s)$ в виде изодромного звена $W_1(s)=k_1+k/s$ с параметрами k=10~000 и $k_1=200$. Постфильтр $W_2(s)$ принимается единичной матрицей размерности 2, равной размерности выхода y_0 .

Графики максимальных сингулярных чисел префильтра $W_1(s)$, номинального объекта G(s) и обобщенного объекта $G_s = GW_1$ приведены на рис. 12. Префильтр $W_1(s)$ корректирует исходный номинальный объект G(s) в области низких и высоких частот.

При алгоритме синтеза регулятора для обобщенного объекта G_s минимальное ограничение на значение угла φ составило $\pi/12$, что существенно меньше, чем в методе без формирующих функций ($3\pi/10$). Это позволяет синтезировать регулятор с более низким значением колебательности. H_∞ -норма замкнутой системы при синтезе регулятора равна 810,84 (в методе без формирующих функций — 916,36). Собственные значения матрицы A_{cl} замкнутой систем $\lambda_1 = -1,005 \cdot 10^2, \ \lambda_{2,3} = -1,31 \cdot 10^2 \pm 1,17i, \ \lambda_4 = -1,32 \cdot 10^2, \ \lambda_5 = -9,33 \cdot 10^2, \ \lambda_6 = -2,77 \cdot 10^3, \ \lambda_7 = -4,79 \cdot 10^3, \ \lambda_8 = -6,45 \cdot 10^3, \ \lambda_9 = -9,45 \cdot 10^3, \ \lambda_{10} = -1,70 \cdot 10^4, \ \lambda_{11,12} = -1,92 \cdot 10^4 \pm 3,82 \cdot 10^3 i.$

Анализ собственных значений показывает, что только две пары собственных значений комплексно сопряженные с малым значением колебательности. Максимальная колебательность примерно в 5 раз меньше, чем в методе без формирующих

функций: $\mu_{\text{max}} = 0,2$ (параметр затухания $\zeta = 0,98$). Это значение характеризует вполне удовлетворительные запасы устойчивости замкнутой системы. Остальные собственные значения вещественные. Таким образом, предложенный метод позволяет получить запасы устойчивости замкнутой системы больше, чем метод без формирующих функций.

Рассмотрим свойства замкнутых систем во временной области при воздействии единичного возмущения w. На рис. 13 приведена реакция замкнутой системы с регулятором, синтезированным методом без формирующих функций, а на рис. 14—с формирующими функциями. Выходу y_{01} соответствует сплошная линия, а выходу y_{02} — штриховая.

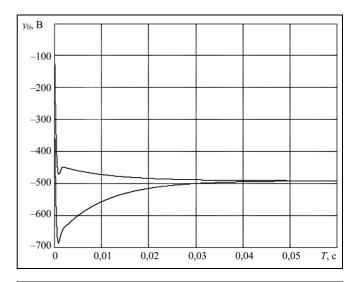


Рис. 13. Реакция замкнутой системы на единичное воздействие по возмущению *w* (без формирующих функций)

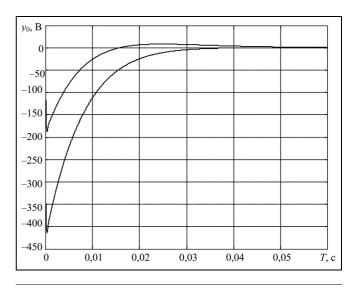


Рис. 14. Реакция замкнутой системы на единичное воздействие (предложенный метод)



Из графиков видно, что время переходного процесса при обоих методах не превышает 0.05 с. В предложенном методе наблюдается практически апериодическое поведение переходных процессов по обоим выходам. Кроме того, замкнутая система является астатической системой первого порядка, т. е. ее ошибка асимптотически стремится к нулю. Это свойство замкнутой системы определяется интегральным членом в формирующей функции $W_1(s)$.

При синтезе регулятора методом без формирующих функций существует статическая ошибка, одинаковая по обоим выходам (примерно 490 В), и наблюдаются более колебательные переходные процессы по обоим выходам. Максимальные отклонения в предложенном методе существенно меньше, чем в методе без формирующих функций. По первому выходу соответственно 690 и 410 В, а по второму — 470 и 190 В.

Таким образом, регулятор, синтезированный по предложенной методике, при практически одинаковом быстродействии обеспечивает более высокие запасы устойчивости и точностные характеристики.

Из сравнения графиков переходных процессов (см. рис. 7 и 14) при воздействии единичного внешнего воздействия видно, что замкнутая система с регулятором, синтезированным по предложенной методике, обеспечивает переходные процессы, близкие к апериодическим, большие запасы устойчивости и более высокое быстродействие.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен метод синтеза робастного регулятора для подавления внешних возмущений, объединяющий H_{∞} -метод формирования контура и H_{∞} -синтез с ограничением на размещение полюсов замкнутой системы в заданной области на комплексной плоскости. Задача синтеза регулято-

ра решается с помощью аппарата линейных матричных неравенств.

В соответствии с предложенным методом решена задача подавления внешних возмущений (отключение нагрузки) для энергетической системы. Замкнутая система с синтезированным регулятором обеспечивает переходные процессы, близкие к апериодическим, высокие запасы устойчивости и удовлетворительное быстродействие.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Курдюков А.П., Тимин В.Н. H_{∞} -управление энергетической системой в аварийном режиме. Ч. І. Теоретические основы синтеза робастных H_{∞} -регуляторов // Проблемы управления. 2009. № 1. С. 8—17.
- LMI-Based Robust Controller Design for Power Systems / A.P. Kurdyukov, M.S. Misrikhanov, V.N. Ryabchenko, and M.M. Tchaikovsky // Intern. Conf. on Mathematical Problems in Engineering, Aerospace and Sciences, Genoa, Italy, 2008.
- 3. *Мисриханов М.Ш.* Инвариантное управление многомерными системами. Алгебраический подход. М.: Наука, 2007.
- 4. Chilali M., and Gahinet P. H_{∞} Design with Pole Placement Constraints: An LMI Approach // IEEE Trans. AC. 1996. Vol. 41, N 3. P. 358—367.
- Nesterov Y., and Nemirovskii A. Interior Point Polynomial Algorithms in Convex Programming: Theory and Applications // SIAM Studies Appl. 1994. Math. Vol. 13.
- Nemirovskii A., and Gahinet P. The Projective Method for Solving Linear Matrix Inequalities // Math. Programming Series B. 1997. Vol. 77. P. 163—190.
- 7. *McFarlane and Glover K.* A Loop Shaping Design Procedure Using H_x Synthesis // IEEE Trans. AC. 37(6). P. 759—769.
- Bikash Pal, Balarko Chaudhuri, Robust Control in Power Systems. N.-Y.: Springer Science + Business Media, Inc., 2005. P. 140—150.

Статья представлена к публикации членом редколлегии С.Д. Земляковым.

Курдюков Александр Петрович — д-р техн. наук, зав. лаб., **☎**(495) 334-92-61, e-mail: akurd@ipu.ru,

Тимин Виктор Николаевич — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, **2**(495) 334-92-41,

e-mail: timin.victor@rambler.ru,

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

Боголюбов Н.Н. Собрание научных трудов. Т. 10. — М.: Наука, 2008. — 736 с.

Бондаренко С.Б. Теория дескриптивных систем. — М.: URSS, 2008. — 187 с.

Васильков Г.В. Эволюционная теория жизненного цикла механических систем. — М.: URSS, 2008. — 311 с.

Граничин О.Н. Информационные технологии в управлении. — М.: БИНОМ, 2008. — 335 с.

Провалов В.С. Информационные технологии управления. — М.: Флинта, 2008. — 371 с.

Исследования по современному анализу и математическому моделированию. — Владикавказ: ИПМиИ, 2008. — 381 с.

Компьютеры, мозг, познание. — М.: Наука, 2008. — 291 с.

Крылов С.М. Неокибернетика. — М.: URSS, 2008. — 288 с.

Рассказова И.О. Применение нейросетевых технологий в системах связи и управления. — Рязань: РВВКУС, 2008. — 251 с.

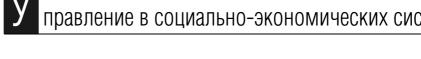
Сердобольский В.И. Теория формальных языков. — М.: МГИЭиМ, 2008. — 128 с.

Тимофеев В.Л. Структурно-энерго-временной анализ физических объектов. — Ижевск: ИжГТУ, 2008. — 328 с.

Экономика как искусство. — М.: Наука, 2008. — 254 с.

Аттемков А.В. Введение в методы оптимизации. — М.: Финансы и статистика; ИНФРА-М, 2008. — 269 с.

Горошникова Т.А. Разработка моделей и инструментальных средств оптимизации развития холдинговой компании. — М.: ИПУ, 2007. — 46 с.



ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ГОСУДАРСТВЕННОГО ЗАКАЗА НА ВОСПРОИЗВОДСТВО ВВП

В.Б. Гусев, А.В. Косьяненко

Рассмотрена проблема прогноза макроэкономических показателей отклика экономической системы на изменение объемов государственного заказа, связанного с реализацией крупномасштабного проекта. Приведены результаты численных расчетов на моделях долгосрочного и среднесрочного прогноза макроэкономической динамики РФ.

Ключевые слова: сценарные условия, методы индикативного планирования, модель долгосрочного прогноза воспроизводства ВВП, объем госзаказа, двухукладная модель среднесрочного прогноза.

ВВЕДЕНИЕ

Государство как экономическая система не допускает возможности проведения экспериментов, отзываясь на них неоправданно большими издержками. Принятие решений на макроуровне, напротив, требует проведения такого рода экспериментов. Расчеты оценок влияния крупного государственного заказа на показатели воспроизводства ВВП являются важным элементом комплекса численных экспериментов, не требующих непосредственного вмешательства в экономику, и основываются на ряде сценарных условий. Реализуемость сценарных условий основана на анализе существующих возможностей экономической системы с учетом альтернативных предположений о том, что участники экономического процесса либо будут придерживаться этих условий, либо будут их игнорировать. Такие альтернативные предположения, формулируемые в виде сценарных условий, входят в арсенал методов индикативного планиро-

Толкования индикативного (рамочного) планирования в разных странах и ситуациях бывают различными, как то:

- 1) планирование институционально-правовых условий рыночного хозяйства без намерения осознанно влиять на показатели его кругооборота;
- 2) формирование институционально-правовых условий рыночного хозяйства с учетом воздействия на количественные параметры;
 - 3) планирование государственных финансов;

- 4) планирование, направленное на организацию государством системы частнохозяйственных соглашений;
- 5) функционирование органов централизованного управления, регулирующих рынок (в рамках централизованно-административной экономики с государственным регулированием рынка).

Используемую далее методологию индикативного планирования можно отнести к п. 2. Особенности индикативного планирования, обусловленные необходимостью применять плановые процедуры в рыночной экономике, состоят в следующем:

- индикативные планы, прогнозы, расчетные показатели ориентированы на их потенциальную реализуемость;
- результаты планирования являются рекомендательными (не обязательными для выполнения);
- результат отступления от рациональных индикативных показателей оценивается и, как правило, носит негативный характер.

Последняя особенность может быть формализована различными способами. В частности, могут быть сделаны предположения о поведении участников экономической системы на теоретико-игровом языке — в виде определения допустимых множеств и функций выигрыша участников. Такого рода формализации простираются от простейших моделей равновесия по Вальрасу (формулировку см., например, в работе [2]) до достаточно сложных моделей, опирающихся на методы динамического программирования (см., например, работы [3, 4]). При игровом подходе поведение агентов модели считается рациональным и имитирует



принцип оптимальности индикативных планов. Другой способ заключается в задании поведения участников в явном виде как функции состояния экономики и, возможно, времени. Сам способ получения такой функции реакции может быть различен. Так, например, в работе [5] это в явном виде вычисление оптимального ответа на текущее состояние экономики с последующим применением регрессионного анализа, а в работе [6] — применение вычислительных процедур, связанных с обучением нейронной сети.

Общая особенность подходов к определению реакции экономических объектов на внешние воздействия состоит в проблематичности обеспечения адекватности используемых моделей, а также релевантности исходных данных, которые часто невозможно получить на основе анализа экономической статистики.

В данной работе применяются два различных подхода к оценке влияния государственного заказа на экономическое развитие России. Первый из них, описанный в § 1, представляет собой развитие сценарного подхода в модели долгосрочного прогнозирования, предложенного в работах [7-9]. Отличительная черта этого подхода — использование модели с максимальным (по возможности) включением показателей Системы национального счетоводства и имеющихся статистических данных. Второй подход, составляющий содержание § 2, представляет собой развитие модели взаимодействия участников хозяйственной деятельности, предложенной в работах [10, 11]. В § 3 приведены результаты численных экспериментов, показывающих хорошую согласованность результатов прогнозирования каждой из моделей, что можно рассматривать как аргумент в пользу их адекватности.

1. МОДЕЛЬ ДОЛГОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ВОСПРОИЗВОДСТВА ВВП

Модель долгосрочного прогноза материально-вещественного аспекта воспроизводства ВВП [8] описывает взаимодействие трех секторов экономики: домашних хозяйств, государства, некоммерческих (общественных) организаций. Основным блоком модели является однопродуктовая модель отечественного производства, на входе которой трудовые и производственные ресурсы, оснащенные новыми технологиями, и промежуточное потребление, а на выходе — выпуск продукции, налоги и трансферты (рис. 1). Основные фонды формируются за счет инвестиций в основной капитал как часть валового национального сбережения. Конечное потребление (КП) разделено на три потока: КП населения, КП общественных организаций и КП государства. Государственный заказ является частью последнего потока. Внешние связи описываются импортом и экспортом.

Важное свойство этой модели заключается в том, что она, благодаря настройке сценарных параметров, с погрешностью не хуже 5 % воспроизводит ретроспективные данные по макропоказателям РФ, начиная с 1995 г. Качество перспективного прогноза определяется тем, насколько удачно выбран сценарий развития экономики страны.

В рамках применяемого в модели подхода изменение структуры бюджета при реализации крупного госзаказа выражается только в изменении объема КП государства. Экономика по-разному отзывается на увеличение государственных расходов на рост высокотехнологичного сектора как части КП государства. При небольшом росте гос-

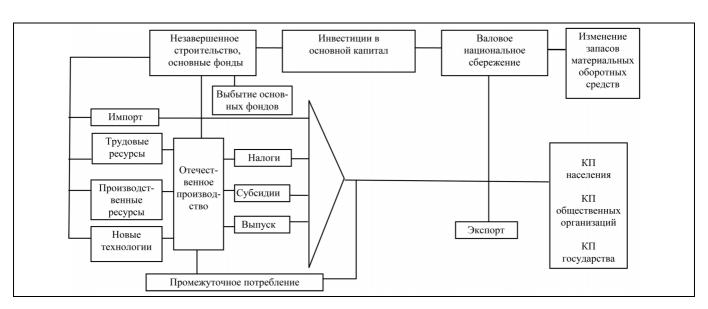


Рис. 1. Структура модели долгосрочного прогноза ВВП



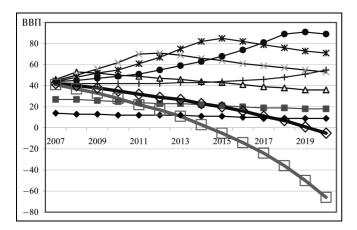


Рис. 2. Сценарные траектории прироста ВВП в сопоставимых ценах:

— V=50; — V=100; — V=200; — V=200; — V=500; — V=500; — V=600; — V=700; — V=800

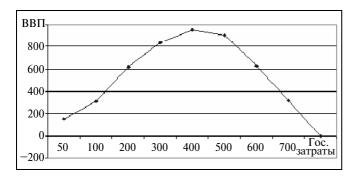


Рис. 3. Суммарное влияние увеличения государственных затрат на ВВП в сопоставимых ценах

заказа увеличиваются объемы основных фондов. В результате роста доли высокотехнологичного сектора растет фондоотдача. Увеличивается конечное потребление домашних хозяйств, а также эффективность перевода инвестиций в фондообразование. Отрицательно влияющие факторы оказываются существенными преимущественно при больших объемах расходов. Они включают в себя перераспределение используемого ВВП в пользу КП государства без видимого социального эффекта; снижение производительности труда вследствие уменьшения инвестиций домашних хозяйств на конечное потребление (доходов населения); увеличение числа трудовых мигрантов. Различные уровни государственных затрат V порождают различные траектории развития экономики (рис. 2).

Результаты модельных расчетов показывают, что относительно небольшое увеличение объема госзаказа приводит к росту ВВП, в то время как чрезмерное увеличение этого объема приводит к спаду. При этом суммарное влияние увеличения

государственных затрат на ВВП страны имеет выраженный максимум (рис. 3).

Наличие максимума в приведенной зависимости можно объяснить тем, что экономика страны в настоящее время «недогружена». Однако приведенная модель не описывает финансовых механизмов реализации рационального роста объемов госзаказа. Рассмотреть такого рода механизмы позволяет двухукладная модель среднесрочного прогноза.

2. ДВУХУКЛАДНАЯ МОДЕЛЬ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПРОГНОЗА

Модель среднесрочного прогноза воспроизводства ВВП представляет собой вычисляемую модель общего экономического равновесия (Computable General Equilibrium model). В ее основе лежит описание взаимодействия двух секторов экономики производственного и домашних хозяйств на рынках товаров и услуг и рынке труда (подробнее см. в работах [10, 11]). В модели могут присутствовать другие агенты — государство, коммерческие банки, внешний мир и др. Описание динамики экономической системы представляет собой в данном случае совокупность по моментам времени статических двухкритериальных задач, подлежащих решению для множества изолированных моментов времени. Поэтому далее в задачах взаимодействия для упрощения записей, там, где это не приводит к неясностям, будет опускаться привязка к моментам времени — символы (t). В рассматриваемой модели в понятие равновесия вкладывается смысл, несколько отличный от традиционного. Прежде чем формализовать понятие равновесия, опишем на содержательном языке поведение участников взаимодействия.

Рассмотрим следующую структуру модели и схему материальных и финансовых потоков в ней (рис. 4).

Деятельность *населения* в рамках модели сводится к потреблению конечного продукта, произведенного предприятиями, предоставлению трудовых ресурсов в пользование предприятиям и сбережению части полученного дохода. Будем предполагать, что предпочтения населения относительно объема конечного потребления C и уровня занятости L могут быть описаны с помощью функции полезности. Можно показать, что в данном случае функция полезности потребителя определена с точностью до монотонного преобразования, что позволяет нам постулировать такой ее вид:

$$U(C, L) = \overline{U} - k_C [C_{\text{max}} - C]_+^2 - k_L [L - L_{\text{min}}]_+^2,$$
 где $[x]_+ = \max\{0, x\}.$

Здесь k_C и k_L — параметры функции полезности, отражающие относительную важность конеч-

26



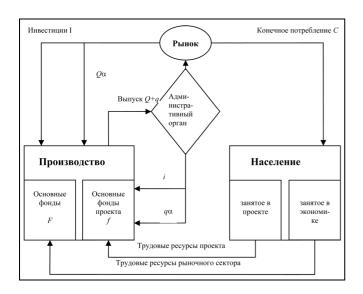


Рис. 4. Структура двухукладной модели

ного потребления и занятости, C_{\max} — желаемый уровень потребления населения (пропорционален текущему уровню потребления), L_{\min} — наименьший возможный уровень занятости (должен обеспечивать прожиточный минимум при условии полной занятости), \overline{U} — произвольно выбираемое значение функции полезности при условии полного удовлетворения потребностей.

Выбор населения относительно объема конечного потребления и уровня занятости ограничен следующими тремя естественными неравенствами: $PC \le D + WW_0L(1-k_s), \ C \ge C_{\min}, \ L \le L_{\max}, \$ где D — нетрудовые доходы населения, включая государственные трансферты, процентные доходы, доходы от аренды имущества и пр., $k_{\rm s}$ — доля сбережений в доходах населения, Р — индекс потребительских цен к фиксированному базовому году, W — индекс заработной платы по отношению к базовому году, W_0 — номинальная заработная плата в базовом году. Первое из неравенств представляет собой бюджетное ограничение, второе ограничивает снизу потребление населения. Значение C_{\min} полагается равным прожиточному минимуму. Третье означает, что число занятых в экономике не превышает численности экономически активного населения L_{\max} .

В итоге оптимизационная задача, описывающая поведение населения в модели, имеет следующий вид:

$$\begin{split} \overline{U} &- k_C [C_{\text{max}} - C]_+^2 - k_L [L - L_{\text{min}}]_+^2 \rightarrow \max_{P, W, L, C \geq 0}, \\ &PC \leq D + WW_0 L, \quad C \geqslant C_{\text{min}}, \quad L \leq L_{\text{min}}. \end{split}$$

Деятельность npednpusmuй в рамках модели сводится к найму рабочей силы в объеме L по це-

нам W (т. е. с учетом индекса заработной платы), воспроизводству производственных мощностей и продаже произведенной в объеме Q продукции на рынке товаров и услуг. Целью деятельности предприятий предполагается максимизация прибыли

$$\pi = PQ(1 - \alpha) - R(L, F, W),$$

где α — доля промежуточного потребления в выпуске, F — стоимость основных фондов на начало периода, R(L, F, W) — функция издержек производства. Выпуск производственного сектора вычисляется по функции Кобба — Дугласа с масштабным множителем A(t) и показателем h:

$$Q(t) = A(t)F^{h}(t)L^{1-h}(t).$$

Ввод в действие основных фондов F(t+1) пропорционален капитальным вложениям I(t) на предыдущем шаге; выбытие фондов пропорционально стоимости фондов: F(t+1) = F(t)(1-M) + I(t)N.

Эффективность капитальных вложений N и темп выбытия M вычисляются Госкомстатом. Последнее ограничение в такой упрощенной постановке — баланс выпуска и потребления продукции: $Q = C + I + (1 - \alpha)Q$.

В рамках рассматриваемой модели существует только два показателя, отражающих изменение цен — индекс цен на товары и услуги P и индекс заработной платы W. Такое упрощение достигнуто благодаря отказу от возможности учета различных темпов изменения цен на продукты, потребленные разными агентами экономики. Следовательно, не существует разницы между балансом товаров и услуг в основных ценах (ценах базового года) и в текущих ценах.

Описав поведение участников взаимодействия, мы можем сформулировать понятие равновесия, используемое при дальнейших построениях. Под равновесием будет пониматься набор значений фазовых переменных (конечного потребления населения, уровня занятости, индекса цен на продукцию и индекса заработной платы в экономике) оптимальный по Парето. Формально это означает необходимость решения следующей задачи:

$$\pi = PQ(1 - \alpha) - R(L, F, W, P) \rightarrow \max_{P(t), L(t), W(t), C(t) \ge 0},$$

$$(1)$$

$$U = \overline{U} - k_{C} [C_{\text{max}} - C]_{+}^{2} - k_{L} [L - L_{\text{min}}]_{+}^{2} \rightarrow \max_{P(t), L(t), W(t), C(t) \ge 0},$$

$$PC \le D + WW_{0}L,$$
(2)

Q = C + I + (1 - a)Q.

$$C \ge C_{\min}, \quad L \le L_{\max},$$

$$Q = AF^{\alpha}L^{1-\alpha}, \tag{3}$$



Для решения двухкритериальной задачи (1)—(3) применяется традиционный метод параметризации и сведения ее к однокритериальной:

$$\Phi = \pi + \lambda U \rightarrow \max_{P(t), L(t), W(t), C(t) \ge 0}.$$

До сих пор модель описывалась в предположении, что в экономике действуют только два вида агентов. Далее мы введем описание поведение еще двух контрагентов экономики, важнейшим из которых государство. После этого будет полностью сформулирована задача, решение которой дает равновесие.

Роль государства в рассматриваемой модели сводится к управлению хозяйственной деятельностью предприятий административного сектора экономики, осуществлению государственных закупок и выплате трансфертов населению. Источником финансирования всех этих видов деятельности служат налоговые поступления в бюджет. С агентов экономики взимаются налоги: на прибыль предприятий и организаций, на добавленную стоимость, на имущество организаций, единый социальный налог, налог на доходы физических лиц, а также экспортные и импортные пошлины.

Ставка каждого из налогов берется непосредственно из Налогового кодекса РФ. Сумма налоговых поступлений составляет доходную часть государственного бюджета. Под бюджетом в данном случае понимается консолидированный бюджет РФ, вопросы разделения налоговых поступлений между регионами и федеральным центром не рассматриваются. Такое описание фискальной системы, очевидно, не полное, поскольку не учитывает всех действующих налогов, а также налогообложение по различным ставкам налогов. Тем не менее, оно гораздо более богато, нежели традиционное вычисление объема налоговых поступлений как фиксированной доли ВВП.

Расходы бюджета включают в себя: заработную плату работников бюджетной сферы, затраты на государственные закупки товаров конечного потребления, затраты на государственные закупки товаров промежуточного потребления государственными предприятиями, затраты на инвестиции в административном секторе, трансферты населению.

Последний из контрагентов в описываемой модели — внешний мир. Было сделано простейшее предположение о характере импортно-экспортных операций в экономике — объемы импорта и экспорта товаров и услуг в ценах базового года составляют постоянные доли от объема выпуска отечественных предприятий. Уточнение, в каких ценах вычислены эти величины, существенно, поскольку объем внешнеторговых операций сильно зависит от общего уровня цен на энергоносители и от текущего курса доллара. Оба этих параметра в модели экзогенные.

При наличии таких четырех агентов в экономике задача о поиске равновесия имеет вид:

$$\begin{split} \pi &= [PQ(1-\alpha)(1-t_{\rm HJC}) - R(L,\,F,\,W,\,P) - \\ &- (M+t_{\rm im})F - t_{\rm jech}Ex - t_{\rm imm}Im - t_{\rm ECH}LWW_0] + \\ &+ MF \rightarrow \max_{P(t),\,L(t),\,W(t),\,C(t) \geq 0}, \\ U &= \overline{U} - k_C[\,C_{\rm max} - C\,]_+^2 - k_L[\,L + l - L_{\rm min}\,]_+^2 \rightarrow \\ &\rightarrow \max_{P(t),\,L(t),\,W(t),\,C(t) \geq 0}, \\ PC &\leqslant [\,D + (WL + wl)\,W_0](1 - t_{\rm HJ}\Phi_{\rm J}) + tf, \\ C &\geqslant C_{\rm min}, \\ L + l &\leqslant L_{\rm max}, \\ Q &= AF^hL^{1-h}, \\ Q &= C + I + i + (1-\alpha)\,Q + q\alpha + G + Ex - Im, \\ G + lwW_0 + i + q\alpha + tf + \Delta &= t_{\rm HJC}PQ(1-\alpha) + \\ + t_{\rm im}F + t_{\rm jech}Ex + t_{\rm imm}Im + (t_{\rm ECH} + t_{\rm HJ}\Phi_{\rm J})LWW_0. \end{split}$$

В приведенных формулах символ t с различными индексами обозначает ставку соответствующего налога: $t_{\rm HДC}$ — налога на добавленную стоимость, $t_{\rm им}$ — налога на имущество, $t_{\rm ECH}$ — единого социального налога, $t_{\rm HД\Phi Л}$ — налога на доходы физических лиц, $t_{\text{эксп}}$ и $t_{\text{имп}}$ — средние ставки экспортных и импортных пошлин; G, i, l и w — соответственно объем государственного потребления продукции рыночного сектора, объем инвестиций в административный сектор, число занятых в административном секторе и индекс-дефлятор заработной платы в административном секторе, tf объем трансфертных платежей государства населению. Дополнительно введенное равенство (4) представляет собой баланс доходной и расходной частей бюджета. Слагаемое Δ представляет собой сальдо расходов бюджета на обслуживание внутреннего и внешнего государственного долга, использования накопленных средств (например, стабилизационного фонда) и др.:

$$\begin{split} \Delta &= \textit{r}_{\text{\tiny BHeIII}} \Lambda_{\text{\tiny BHeIII}} + \Lambda_{\text{\tiny BHeIII}}^- + \textit{r}_{\text{\tiny BH}} \Lambda_{\text{\tiny BH}}^- + \Lambda_{\text{\tiny BH}}^- \\ &- \Lambda_{\text{\tiny BHeIII}}^+ - \Lambda_{\text{\tiny BH}}^+ + \textit{S}. \end{split}$$

Здесь первое и третье слагаемые представляют собой процентные выплаты по внешнему и внутреннему долгу соответственно, второе и четвертое — выплаты в счет погашения внешнего и внутреннего долга, пятое и шестое — увеличение внешнего и внутреннего долга, последнее — сальдо изменения государственных накоплений с учетом доходов, полученных по этим активам (золотовалютные резервы, стабилизационный фонд и др.). Все величины имеют смысл потока за период *t*. Первые четыре слагаемых определяются сложившейся структурой государственного долга, пятое и шес-



тое задаются сценарно, последнее определяется в связи с доходностью и структурой сложившихся накоплений и корректируется сценарием.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ЧИСЛЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ НА ДВУХУКЛАДНОЙ МОДЕЛИ

Прогнозы, получаемые с помощью двухукладной модели, носят сценарный характер. Под сценарием в данном случае подразумевается набор временных рядов, характеризующих возможные значения определенных показателей в будущие моменты времени. К сценарно задаваемым величинам относятся, в первую очередь, доли расходов бюджета по статьям, объем Δ средств на обслуживание государственного долга и сбережения и число работников бюджетной сферы. Существенно, что эти доли могут быть различны в разные моменты времени. Кроме того, сценарно должны быть заданы склонности экономики к импорту и экспорту, индексы цен на импортируемую и экспортируемую продукцию (с учетом изменения курса доллара), ставки налогов, темпы выбытия, эффективность капитальных вложений в рыночном и административном секторах и ряд других вспомогательных параметров.

Многовариантные расчеты позволяют оценить влияние различных видов государственных затрат на экономику страны. Подготовка сценариев возлагается на пользователя модели. В качестве основы при такой оценке используется инерциальный сценарий, в котором деятельность государства продолжает сложившиеся тенденции. Для обеспечения сопоставимости результатов расчетов сценарии обозначены в терминах дополнительных совокупных (в сумме по всем статьям расходов) государственных затрат. На рис. 5 представлен пример результатов прогноза объема ВВП при различных уровнях государственных затрат в форме, аналогичной представленной на рис. 3.

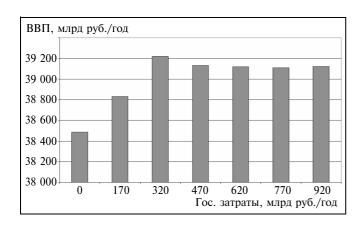
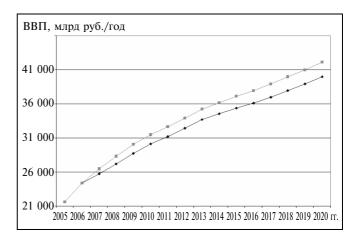


Рис. 5. Прогноз на 2020 г. объема ВВП при различных уровнях государственных затрат



переменная структура

Картина, полученная с помощью двухукладной модели, качественно совпадает с полученной при аналогичных исходных посылках с помощью модели долгосрочного прогноза воспроизводства ВВП. С увеличением дополнительного объема государственных затрат до уровня 300 — 400 млрд. руб. в год наблюдается положительный эффект от такого рода вложений. При дальнейшем увеличении объема дополнительных затрат этот эффект постепенно снижается.

Важную роль играет структура расходной части бюджета. Рис. 6 иллюстрирует этот эффект.

Был рассчитан эффект от дополнительного финансирования бюджета в размере 320 млрд. руб. в год. В одном случае эти средства были разделены пропорционально между всеми статьями бюджета, а в другом — первоначально (на период 5 лет) были сконцентрированы на увеличении стоимости основных фондов административного сектора, а затем — на приобретение продукции как административного, так и рыночного сектора.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Безусловно, оценка влияния государственных проектов не сводится к сравнению прогноза объема ВВП в различные моменты времени. По крайней мере, такая оценка должна позволять сравнивать сценарии как по интегральным (например, среднее значение за период прогнозирования), так и по терминальным (значение на конец периода прогнозирования) характеристикам для различных показателей социально-экономического развития государства. Эти показатели включают в себя, кроме ВВП, объем выпуска в экономике, уровень занятости, уровень жизни населения (например, в виде объема конечного потребления), объем ин-



вестиций, стоимость основных фондов и др. Сведение всех таких показателей к единому показателю представляет собой отдельную сложную задачу, которая может быть решена с помощью методов свертки на основе экспертных оценок важности показателей, например, с помощью метода векторной стратификации [12]. Важно, что все эти показатели сложным образом связаны между собой и должны прогнозироваться совместно, что и обеспечивается описанными моделями.

Каждая из моделей обладает своими достоинствами и недостатками. Первая обеспечивает, возможно, более точное описание структуры ВВП в текущих и сопоставимых ценах благодаря использованию индексов-дефляторов по каждому из его компонентов и выполнение балансовых соотношений в текущих ценах. Характер поведения агентов экономики задается в виде сценария, структура государственных затрат описывается в упрощенном виде. Двухукладная модель, напротив, построена на определении траектории развития как оптимальных ответов участников в бинарном взаимодействии особого рода. Структура и объем государственных затрат задаются в естественной форме. Однако цена такого подхода заключается в необходимости упрощенного понимания индекса цен в экономике и тем самым в отказе от различий в балансах в сопоставимых и текущих ценах. Тот факт, что модели, существенно отличающиеся в своих предпосылках, дают качественно сходные результаты, дает основания предполагать, что наблюдающиеся эффекты отражают характерные особенности описываемой системы.

ЛИТЕРАТУРА

 Индикативное планирование и проведение региональной политики / В.Б. Гусев и др. — М.: Финансы и статистика, 2007. — 368 с.

- Mas-Colell A., Whinston M., Green J. Microeconomic theory. N.-Y.: Oxford University Press, 1995.
- 3. *Петров А.А., Поспелов И.Г., Шананин А.А.* Опыт математического моделирования экономики. М.: Энергоатомиздат, 1996. 544 с.
- Технология моделирования экономики и модель современной экономики России / М.Ю. Андреев и др. — М.: МИФИ, 2007. — 262 с.
- Бирюков С.И., Волков Ю.Н., Косьяненко А.В. Методы прогнозирования макроэкономических показателей социально-экономического развития страны на основе функциональных зависимостей // Системный аудит использования национальных ресурсов и управление по результатам. Вып. 2. Методы и модели информационно-аналитического обеспечения / Под ред. А.А. Пискунова. Ростов-н/Д. 2007. С. 96—112.
- 6. *Макаров В.Л., Бахтизин А.Р., Сулашкин С.С.* Применение вычислимых моделей в государственном управлении. М.: Научный эксперт, 2007. 304 с.
- 7. *Проблемы* прогнозирования воспроизводства ВВП России / В.С. Лисин и др. М.: ТЕИС, 2004. 232 с.
- Однопродуктовая модель долгосрочного прогноза ВВП / В.Б. Гусев и др. — М.: Ин-т пробл. управл. РАН, 2005.
- Пащенко Ф.Ф., Гусев В.Б., Антипов В.И. Последствия вступления России в ВТО // Проблемы управления. 2005. № 2. С. 9—19.
- 10. *Бирюков С.И.*, *Осадчий Н.А.*, *Савчук Н.Ф*. Комплексная двухукладная модель национальной экономики // Электронный журнал «Исследовано в России». 2000. № 40. С. 518—540. Режим доступа: http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2000/040.pdf.
- Бирюков С.И., Колобов Д.В., Косьяненко А.В. Моделирование влияния ресурсоемких программ на экономику страны // Системный аудит использования национальных ресурсов и управление по результатам. Вып. 2. Методы и модели информационно-аналитического обеспечения / Подред. А.А. Пискунова. Ростов-н/Д. 2007. С. 398—416.
- *Глотов В.А., Павельев В.В.* Векторная стратификация. М.: Наука, 1984. — 95 с.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Р.М. Нижегородцевым.

Гусев Владислав Борисович — канд. физ.-мат. наук, и. о. зав. лабораторией, e-mail: gusvbr@ipu.ru,

Косьяненко Антон Валерьевич — мл. науч. сотрудник,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, **☎**(495) 334-88-21.



Долженко А.И. Нечеткие модели — эффективный инструментарий для анализа потребительского качества информационных систем. — Ростов н/Д: ГЭУ, 2008. — 219 с.

Заложнев А.Ю. Информационные технологии маркетинга. — М.: Бухгалтерия и банки, 2009. —152 с.

Моделирование, алгоритмизация и программирование при проектировании информационно-управляемых систем. — М.: МГИЭТ, 2008. — 283 с.

Морозова Т.Ю. Вероятностно-статистические методы и средства повышения эффективности защиты и обработки информации в беспроводных сетях. — М.: Машиностроение, 2008. — 143 с.

Прескилл Д. Квантовая информация и квантовые вычисления. Т. 1. — М.; Ижевск: ИКИ, 2008. — 462 с.

Системы управления и передачи информации. — СПб.: ИСУ, 2008. — 135 с.

Ченцов А.Г. Экстремальные задачи маршрутизации и распределения заданий. — М.; Ижевск: ИКИ, 2008. — 238 с.

Васильев Ф.П. Линейное программирование. — М.: Факториал Пресс, 2008. — 347 с.

Жизняков А.Л. Многомасштабные методы обработки цифровых изображений. — Владимир: ВГУ, 2008. — 102 с.

Красовский А.А. Математическое моделирование динамики полета летального аппарата. — Пенза: РГУ ИТП, 2008. — 259 с.

Куликов Е.И. Прикладной статистический анализ. — М.: Горячая Линия — Телеком, 2008. — 463 с.

Синицын С.В. Верификация программного обеспечения. — М.: БИНОМ, 2008. — 367 с.

УДК 368

МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕЗЕРВОМ ПОКРЫТИЯ ЗАДОЛЖЕННОСТИ В СИСТЕМЕ СОЦИАЛЬНОГО СТРАХОВАНИЯ

Ю.М. Гладков, В.Л. Мартынов, А.Б. Шелков

Рассмотрены формализованные методы управления резервом покрытия задолженности работодателей в системе обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний.

Ключевые слова: социальное страхование, страховые взносы, резерв задолженности.

ВВЕДЕНИЕ

Для обеспечения финансовой устойчивости обязательного социального страхования необходимо сформировать систему резервов, включающую в себя следующие основные их виды [1—4]: резервы на поддержание текущего оборота; средства на осуществление мероприятий по снижению профессиональных рисков; средства на покрытие дефицита ресурсов в связи с неожиданным ростом объемов страховых выплат; средства на покрытие дефицита ресурсов при значительном снижении объемов поступления страховых взносов работодателей.

Резервы последних двух видов в страховании обычно называются резервами колебания убыточности. Как известно, в последние годы проблема снижения объемов обязательных страховых взносов и, в первую очередь, роста объема задолженности в той или иной мере присутствует не только в системе социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний, но и в медицинском и пенсионном страховании (единый социальный налог) [4, 5]. Долги по страховым взносам наносят прямые и во многих практических случаях ощутимые и трудно восполнимые финансовые потери. С целью покрытия ожидаемого (прогнозируемого) объема задолженности с учетом динамики его изменения за предстоящий страховой период и формируется резерв покрытия задолженности.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим методологию оценки резерва покрытия задолженности с помощью математического аппарата временных рядов [6]. В практике обязательного социального страхования при планировании бюджета на будущий, (k+1)-й год определяется размер \bar{x}_{k+1} (руб.) ожидаемых поступлений в форме обязательных платежей на рассматриваемый вид страхования, который зависит от многих факторов [1—3]. Очевидно, что реальные поступления x_{k+1} (руб.) будут отличаться от ожидаемых на величину

$$\Delta_{k+1} = x_{k+1} - \bar{x}_{k+1}$$
 (py6.). (1)

По итогам (k+1)-го года возможны следующие варианты:

- $\Delta_{k+1} > 0$ реальные поступления выше ожидаемых (профицит);
- $\Delta_{k+1} \approx 0$ реальные поступления равны ожидаемым (баланс);
- $\Delta_{k+1} < 0$ реальные поступления меньше ожидаемых, т. е. возник дефицит, для покрытия которого и требуется формирование резерва.

Таким образом, средства из резерва рассматриваемого типа требуются для покрытия возможной отрицательной разницы между ожидаемыми и реальными поступлениями (1). Данный вид резерва должен рассчитываться на основе статистики предыдущих страховых лет и служить для «демпфирования» риска возникновения дефицита бюджета



по отдельным страховым периодам. В благоприятные годы он может накапливаться, а в неблагоприятные расходоваться на покрытие возникающего дефицита.

Рассмотрим задачу определения резерва покрытия задолженности на (k+1)-й год. Решение данной задачи состоит из следующих этапов:

- расчет переходящих остатков прошлых периодов:
- расчет среднего отклонения ожидаемых поступлений от реальных в прошлых страховых периодах;
- определение диапазонов возможного отклонения реальных поступлений от ожидаемых (1) в (k+1)-м году;
- собственно расчет резерва покрытия задолженности.

2. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА ОСТАТКОВ ПРОШЛЫХ ПЕРИОДОВ

Пусть рассматривается отчетный временной период в k лет, предшествующих (k+1)-му году. Предположим, что в прошлые года специальный резерв покрытия задолженности в явном виде не рассчитывался, а с учетом целевого назначения планируемых затрат либо складывался из переходящих остатков предшествующих периодов, которые служили для покрытия отрицательной разницы, либо, если данных средств оказывалось недостаточно, привлекались средства из общего резерва, либо резерва, изначально планировавшегося для покрытия иного типа расходов. В сделанных предположениях рассмотрим алгоритм расчета значения переходящего неотрицательного остатка. Пусть $R_{\Phi_k} \geqslant 0$ — резерв на начало (k+1)-го года.

Шаг 1. Предположим, что на начало первого из рассматриваемых k годов остаток предыдущих периодов составлял величину $R_{\Phi_0} \geqslant 0$ (руб.). По результатам первого года абсолютная разница между реальными и ожидаемыми поступлениями составила величину $\Delta_1 = x_1 - \bar{x}_1$, где Δ_1 (руб.) может принимать как положительные, так и отрицательные значения. Если $R_{\Phi_0} + \Delta_1 \geqslant 0$, то нарастающий итог на начало второго года составит величину $R_{\Phi_1} = R_{\Phi_0} + \Delta_1 \geqslant 0$. В противном случае, при $R_{\Phi_0} + \Delta_1 < 0$, недостающие средства $|R_{\Phi_0} + \Delta_1|$ поступали из общего резерва или резервов иного назначения, и на начало второго года $R_{\Phi_1} = 0$.

На последующих шагах указанные построения повторяются.

Шаг і ($i = \overline{2,k}$). Пусть на начало i-го года формируемый указанным образом резерв составил величину $R_{\Phi_{i-1}} \geqslant 0$ (руб.). По результатам i-го года абсолютная разница между реальными и ожидаемыми поступлениями составила

$$\Delta_i = x_i - \bar{x}_i \text{ (py6.)}. \tag{2}$$

Если $R_{\Phi_{i-1}}+\Delta_i\geqslant 0$, то нарастающий итог на начало (i+1)-го года составит величину $R_{\Phi_i}=R_{\Phi_{i-1}}+\Delta_i\geqslant 0$. В противном случае, при $R_{\Phi_{i-1}}+\Delta_i<0$ принимаем $R_{\Phi_i}=0$. Таким образом, на начало (k+1)-го, расчетного, года стартовый резерв составил величину $R_{\Phi_k}\geqslant 0$ (руб.). Построения следующих этапов опишем для двух гипотетических вариантов:

— с постоянной базой в предположении, что ожидаемые поступления в рассматриваемом временном диапазоне были постоянными:

$$\bar{x}_i = \bar{x}_{i+1} = \text{const}, \quad i = \overline{1, k};$$
 (3)

— с переменной базой в предположении, что ожидаемые поступления в рассматриваемом временном диапазоне были переменными:

$$\bar{x}_i > \bar{x}_{i+1}$$
 или $\bar{x}_i < \bar{x}_{i+1}$, $i = \overline{1, k}$. (4)

3. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА РЕЗЕРВА С ПОСТОЯННОЙ БАЗОЙ

Расчет среднего абсолютного отклонения от ожидаемых поступлений. В случае (3) рассчитываются абсолютные отклонения (руб.) от постоянной базы \bar{x} за предыдущие k лет

$$\Delta_i = x_i - \overline{x}, \quad i = \overline{1, k}. \tag{5}$$

Полученный временной ряд (5) подлежит дисконтированию. С этой целью для каждого члена ряда (5) вводится индивидуальный коэффициент дисконтирования $\alpha_i > 0$. В общем случае $\alpha_i < 1$, $\alpha_i < \alpha_{i+1}, \ i = \overline{1,k-1}$. Приведем итерационную процедуру расчета индивидуальных коэффициентов дисконтирования.

Расчет индивидуальных коэффициентов дисконтирования. Пусть τ_{k+1} (%) — ожидаемые темпы ин-



фляции в (k+1)-м году по сравнению с k-м годом. Тогда коэффициент дисконтирования k-го года

$$\alpha_k = \frac{100 - \tau_{k+1}}{100} < 1.$$

Пусть τ_k (%) — реальные темпы инфляции в k-м году по сравнению с (k-1)-м годом. Тогда коэффициент дисконтирования (k-1)-го года относительно (k+1)-го, базового года, составит:

$$\alpha_{k-1} = \alpha_k \frac{100 - \tau_k}{100} < 1.$$

Таким образом, если τ_{i+1} (%) — реальные темпы инфляции в (i+1)-м году по сравнению с i-м годом, то коэффициент дисконтирования i-го года относительно (k+1)-го базового года составит:

$$\alpha_{i} = \alpha_{i+1} \frac{100 - \tau_{i+1}}{100} = \prod_{j=i+1}^{k+1} \frac{100 - \tau_{j}}{100} < 1,$$

$$i = \overline{1, k}.$$
(6)

С учетом выражений (5) и (6) получим дисконтированный временной ряд абсолютных отклонений Δ_{α_i} , где

$$\Delta_{\alpha_i} = \alpha_i \Delta_i, \quad i = \overline{1, k}. \tag{7}$$

Математическое ожидание (руб.) для дисконтированного ряда (7) определяется как среднее арифметическое:

$$M(\Delta_{\alpha}) = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^{k} \Delta_{\alpha_i}.$$
 (8)

Заметим, что полученное значение (8) не пропорционально соответствующему среднему значению ряда (5) без учета инфляции.

Определение диапазона абсолютных отклонений на (k+1)-й год. Для решения данной задачи рассчитаем среднеквадратическое отклонение σ_{α} членов дисконтированного ряда (7) от математического ожидания (8) по формуле:

$$\sigma_{\alpha} = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^{k} \left(M(\Delta_{\alpha}) - \Delta_{\alpha_{i}} \right)^{2}} > 0.$$
 (9)

С учетом выражений (8) и (9) получим диапазон возможных абсолютных отклонений реальных поступлений от ожидаемых в (k+1)-м году (1):

$$\Delta_{k+1} \in [M(\Delta_{\alpha}) - \sigma_{\alpha}; M(\Delta_{\alpha}) + \sigma_{\alpha}]. \tag{10}$$

Заметим, что для большей надежности нижняя граница интервала (10) (в общем случае, отрицательная разница)

$$\Delta_{\mathbf{H}_{k+1}} = M(\Delta_{\alpha}) - \sigma_{\alpha} \tag{11}$$

может быть расширена влево:

$$\Delta_{\mathbf{H}_{k+1}} = M(\Delta_{\alpha}) - 2\sigma_{\alpha} \tag{12}$$

или

$$\Delta_{\mathbf{H}_{k+1}} = M(\Delta_{\alpha}) - 3\sigma_{\alpha}. \tag{13}$$

Заметим, что на практике для формализации дисконтированного ряда (7) можно воспользоваться методом наименьших квадратов (с применением стандартных способов выравнивания рядов [7]) и среднеквадратическое отклонение (8) рассчитать относительно полученной регрессии.

Расчет резерва покрытия задолженности на (k+1)-й год. Требуется определить нижнюю оценку денежных средств $\Delta_{\varphi_{k+1}}$, которые необходимо зарезервировать с тем, чтобы вероятное отрицательное отклонение реальных поступлений от ожидаемых (1) было покрыто не из общего, а из специально созданного целевого резерва покрытия задолженности. Расчет резерва покрытия задолженности $R_{\varphi_{k+1}}^{\rm H}$ на начало (k+1)-го года основан на сравнении нижней границы диапазона отклонений (11) или (12), или (13) со стартовым остатком $R_{\varphi_k} \geqslant 0$:

- если $\Delta_{\mathbf{H}_{k+1}} \geqslant 0$, то, согласно построениям, ожидаемая величина $\tilde{\Delta}_{k+1} \geqslant 0$, следовательно $\Delta_{\Phi_{k+1}} = 0$, специального целевого резерва не требуется, а за размер резерва покрытия задолженности на начало (k+1)-го года принимается стартовое значение $R_{\Phi_k} \geqslant 0$, т. е. $R_{\Phi_{k+1}}^{\mathbf{H}} = R_{\Phi_k}$;
- если $\Delta_{\mathrm{H}_{k+1}} < 0$ и $|\Delta_{\mathrm{H}_{k+1}}| \leqslant R_{\Phi_k}$, то вероятная отрицательная разница может быть покрыта из переходящего положительного остатка и, также как и в предыдущем пункте, принимаем $\Delta_{\Phi_{k+1}} = 0$,

$$R_{\Phi_{k+1}}^{\mathrm{H}} = R_{\Phi_{k}};$$

• если $\Delta_{\mathbf{H}_{k+1}} < 0$ и $|\Delta_{\mathbf{H}_{k+1}}| > R_{\Phi_k}$, то вероятная отрицательная разница может быть только частично покрыта переходящим положительным остатком. Нижняя оценка финансовых средств (руб.), которые дополнительно требуется зало-



жить в резерв покрытия задолженности будущего бюджета (k+1)-го года, составит

$$\Delta_{\Phi_{k+1}} \geqslant |R_{\Phi_k} + \Delta_{\mathbf{H}_{k+1}}|, \tag{14}$$

и за размер резерва рассматриваемого типа на начало (k+1)-го года принимается значение

Согласно данным построениям, реальное от-

клонение (1) будет либо положительным, либо от-

$$R_{\Phi_{k+1}}^{\mathrm{H}} = R_{\Phi_k} + \Delta_{\Phi_{k+1}}.$$
 (15)

рицательным. Если зарезервированных средств (14), (15) окажется достаточно, то стартовый остаток на начало (k+2)-го года $R_{\Phi_{k+1}} = R_{\Phi_{k+1}}^{\rm H} + \Delta_{k+1}$. В противном случае ($R_{\Phi_{k+1}}^{\rm H} + \Delta_{k+1} < 0$) привлекаются средства из перестраховочного резерва и $R_{\Phi_{k+1}} = 0$. Для расчета резерва покрытия задолженности на (k+2)-й год рассматривается предыдущий страховой период с учетом результатов (k+1)-го года, и описанная процедура повторя-

4. АЛГОРИТМ РАСЧЕТА РЕЗЕРВА С ПЕРЕМЕННОЙ БАЗОЙ

ется аналогичным образом.

Расчет среднего относительного отклонения от ожидаемых поступлений. Существенное отличие рассматриваемого случая (4) от построений с постоянной базой заключается в том, что рассчитываются относительные величины — коэффициенты роста δ_i как отношения ожидаемых поступлений к реальным, которые характеризуют интенсивность изменения уровней от года к году в пределах рассматриваемого страхового периода в k лет, а именно

$$\delta_i = \overline{x}_i / x_i, \quad i = \overline{1, k} \,. \tag{16}$$

Полученный временной ряд (16) содержит безразмерные положительные величины, которые не подлежат дисконтированию. Покажем связь между абсолютными (2) и относительными (16) отклонениями:

- $\delta_i \le 1 \Leftrightarrow \Delta_i \ge 0$, т. е. реальные поступления в i-м году $(i = \overline{1, k})$ больше ожидаемых (профицит);
- $\delta_i \approx 1 \Leftrightarrow \Delta_i \approx 0$, т. е. реальные поступления примерно равны ожидаемым;
- $\delta_i > 1 \Leftrightarrow \Delta_i < 0$, т. е. реальные поступления меньше ожидаемых (дефицит).

Для ряда коэффициентов роста (16) находим средний коэффициент роста как среднее геометрическое:

$$\bar{\delta} = \sqrt[k]{\prod_{i=1}^{k} \delta_k}.$$
 (17)

Он показывает, во сколько раз в среднем за отдельные годы рассматриваемого периода изменялись уровни базового динамического ряда, и выполняет роль, аналогичную роли математического ожидания (8) для ряда абсолютных отклонений.

Определение диапазона относительных отклонений на (k+1)-й год. Рассчитаем среднеквадратическое отклонение σ членов ряда (16) от среднего геометрического (17) по формуле, аналогичной формуле (9), а именно:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{k-1} \sum_{i=1}^{k} (\bar{\delta} - \delta_i)^2} > 0.$$
 (18)

С учетом формул (17) и (18) получим диапазон возможных относительных отклонений реальных поступлений от ожидаемых в (k+1)-м году:

$$\delta_{k+1} \in [\bar{\delta} - \sigma; \bar{\delta} + \sigma]. \tag{19}$$

Поскольку рассматриваемые величины имеют определенный физический смысл и $\delta_{k+1}>0$, то при $\bar{\delta}-\sigma<0$ (при больших нижних выбросах) за нижнюю границу принимается сколь угодно малое положительное значение $\delta_{{\rm H}_{k+1}}<\bar{\delta}$.

Заметим, что в данном случае критична верхняя граница интервала (19). Рассмотрим следующие варианты выбора верхних границ:

$$\delta_{\mathbf{B}_{k+1}} = \bar{\delta} + \sigma; \tag{20}$$

$$\delta_{\mathbf{B}_{k+1}} = \bar{\delta} + 2\sigma; \tag{21}$$

$$\delta_{\mathbf{B}_{k+1}} = \bar{\delta} + 3\sigma. \tag{22}$$

С учетом выражений (16) и (20)—(22) вероятное абсолютное максимальное отклонение реальных поступлений от ожидаемых в (k+1)-м году составит (руб.):

$$\Delta_{\mathbf{B}_{k+1}} = (\delta_{\mathbf{B}_{k+1}} - 1)\bar{x}_{k+1}. \tag{23}$$

Заметим, что в данном случае также можно воспользоваться методом наименьших квадратов (с применением стандартных способов выравнивания рядов) и среднеквадратическое отклонение (18) рассчитать относительно полученной регрессии.



Расчет резерва покрытия задолженности на (k+1)-й год. Для определения нижней оценки денежных средств $\Delta_{\Phi_{k+1}}$, которые требуется предусмотреть в резерве покрытия задолженности, рассматриваются верхние границы коэффициента роста $\delta_{\mathbf{B}_{k+1}}$ (20)—(22) и сравниваются соответствующие вероятные максимальные абсолютные отклонения (23) со стартовым остатком $R_{\Phi_k} \geqslant 0$:

- если $\delta_{\mathrm{B}_{k+1}} \leqslant 1$, то согласно построениям (23) ожидаемая величина $\Delta_{\mathrm{B}_{k+1}} < 0$, следовательно $\Delta_{\Phi_{k+1}} = 0$, специального целевого резерва не требуется, и за размер резерва покрытия задолженности на начало (k+1)-го года принимается стартовое значение $R_{\Phi_k} \geqslant 0$, т. е. $R_{\Phi_{k+1}}^{\mathrm{H}} = R_{\Phi_k}$;
- если $\delta_{\mathbf{B}_{k+1}} > 1$ и $0 < \Delta_{\mathbf{B}_{k+1}} \leqslant R_{\Phi_k}$, то вероятная разница может быть покрыта из переходящего положительного остатка и, также как и в предыдущем пункте, принимаем $\Delta_{\Phi_{k+1}} = 0$,

$$R_{\Phi_{k+1}}^{\scriptscriptstyle \mathrm{H}} = R_{\Phi_k};$$

• если $\delta_{\mathsf{B}_{k+1}} > 1$ и $\delta_{\mathsf{B}_{k+1}} > R_{\Phi_k}$, то вероятная разница может быть только частично покрыта переходящим положительным остатком. Нижняя оценка финансовых средств (руб.), которые требуется дополнительно заложить в резерв покрытия задолженности (k+1)-го года

$$\Delta_{\Phi_{k+1}} \geqslant \Delta_{\mathbf{B}_{k+1}} - R_{\Phi_k} \tag{24}$$

и за размер резерва покрытия задолженности на начало (k+1)-го года принимается значение (15) с учетом оценки (24).

Для расчета резерва покрытия задолженности на (k+2)-й год рассматривается предыдущий страховой период с учетом результатов (k+1)-го года, и описанная процедура повторяется аналогичным образом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В системе обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний средства резерва покрытия задолженности, возрастающие в период экономической стабилизации или ее роста, могут быть источником пополнения иных видов резерва,

предназначенных для использования на другие цели [3].

Представленная в настоящей статье методология обоснования и расчета необходимого резерва покрытия задолженности работодателей разработана впервые и в настоящее время используется в практике управления системой обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний в рамках автоматизированной системы ЕИИС «Соцстрах».

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Страхование от несчастных случаев на производстве; актуарные основы // Под ред. В.Н. Баскакова. М.: Academia, $2001.-126~\rm c.$
- 2. Шелков А.Б., Гладков Ю.М. Методы анализа и управления рисками в системе обязательного социального страхования от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний // Матер. междунар. науч. конф. «Проблемы регионального и муниципального управления». М., 2005. С. 236—239.
- Методы расчета необходимого размера страхового резерва по обязательному социальному страхованию от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний / С.С. Ковалевский, В.В. Кульба, В.А. Уткин, С.А. Краснова // Там же. 2006. С. 280—283.
- Четыркин Е.М. Актуарные расчеты в негосударственном пенсионном и медицинском страховании. — М.: Дело, 2002. — 272 с.
- 5. Попонова А.Н., Нестеров Г.Г., Терзиди А.В. Организация налогового учета и налогового контроля. М.: Эксмо, 2006.-624 с.
- 6. Шоломицкий А.Г. Теория риска. Выбор при неопределенности и моделирование риска. М.: Изд. дом ГУ ВШЭ, $2005.-400~\rm c.$
- 7. *Кендэлл М.* Временные ряды. М.: Финансы и статистика, 1981.

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

¹Гладков Юрий Михайлович — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, **☎** (495) 334-89-59, e-mail: urglad@ipu.ru,

²**Мартынов Виктор Лукьянович** — канд. техн. наук, руководитель Департамента, **☎** (495) 797-92-90, информационных технологий, e-mail: martynov@fss.ru,

¹**Шелков Алексей Борисович** — канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, **☎** (495) 334-89-59, e-mail: shelkov@ipu.ru,

¹Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва,

²Фонд социального страхования Российской Федерации, г. Москва.



УДК 007:621.5.011

ОЦЕНКА СОСТАВЛЯЮЩИХ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ СТРАН ПО МЕТОДУ «ПАССИВНОГО» ЭКСПЕРИМЕНТА

В.Г. Клепарский

С помощью «пассивного» эксперимента выявлены две составляющие отношения результативность/затраты. Первая из них — исходный уровень отношения результативность/затраты — определяется индексом институционального развития. Вторая — действующее значение отношения результативность/затраты — уровнем использования основного и «человеческого» капитала в процессе управления. Показана достаточно высокая адекватность управления российской экономикой

Ключевые слова: отношение результативность/затраты, институциональное развитие, «человеческий» капитал, адекватность управления.

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях успех в конкурентной борьбе как между отдельными фирмами, так и между регионами и странами во все большей степени определяется результативностью функционирования социально-экономической системы, определяемой, в свою очередь, результативностью ее управления. Основными критериями результативности управления выступают, прежде всего, уменьшение затрат на функционирование рассматриваемой системы (т. е. улучшение соотношения результативность/затраты), а также уменьшение времени, необходимого для достижения системой более высоких социально-экономических показателей.

Многокомпонентность таких понятий, как результативность и затраты, затрудняет поиск оптимального варианта решения проблемы результативности управления с помощью методов математической оптимизации (см., например, работу [1]). В этих условиях возрастает роль «пассивного» эксперимента, когда по результатам анализа функционирования реальных социально-экономических систем удается выделить основные независимые переменные (параметры «порядка» по терминологии нелинейной динамики), позволяющие оценить результативность функционирования системы (а значит и проследить адекватность управления) на определенном этапе развития по объективно

измеряемым характеристиками системы (см., например, работу [2]).

Одним из вариантов выполнения «пассивного» эксперимента можно считать графическое сопоставление потребления электроэнергии (ПЭ) и валового внутреннего продукта — ВВП (по паритету покупательной способности) для 128 крупнейших стран мира, проведенное в работе [3]. Авторам удалось показать, что между ПЭ и ВВП существует зависимость, близкая к линейной. Такой ход зависимости обусловлен тем, что рост ВВП все в большей степени связан с ростом производительности труда, которая, в свою очередь, связана с энерговооруженностью. Поскольку размер ВВП определяет результативность функционирования системы, а уровень ПЭ характеризует существенную часть затрат на ее функционирование, отношение ВВП/ПЭ можно считать одной из компонент отношения результативность/затраты. Важно отметить, что отыскание самоорганизующейся системой (в целях выхода на конкурентоспособный уровень развития) наиболее малозатратных способов потребления электроэнергии основано на применении новейших технологий, что, в свою очередь, требует соответствующего уровня знаний (квалификации) и инициативы исполнителей. Но использование знаний и инициативы для достижения системой более высоких социально-экономических показателей — это и есть управление в широком смысле этого слова. Использование отношения ВВП/ПЭ открывает, следовательно,



возможность для объективной (измеряемой) оценки результативности управления. Величина, обратная ВВП (1/ВВП) позволяет получить такую объективно измеряемую характеристику системы, как время T (в часах, считая длительность года равной 8760 ч), необходимое для производства системой (страной) валового продукта стоимостью в 1 млрд долл. США.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ СТРАН

Для дальнейшего анализа результативности управления различных стран и их конкурентной способности была составлена (на основе данных за 2007 г. Центрального разведывательного управления США, находящихся в открытом доступе [4])

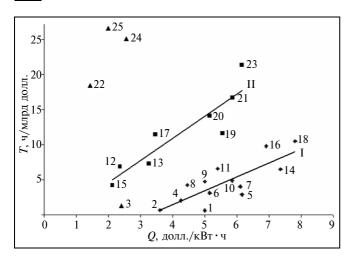
краткая таблица важнейших экономических данных для EC и 24 крупнейших (по экономическим показателям) стран мира.

По данным таблицы на рисунке было выполнено графическое сопоставление величины $T\equiv 1/{\rm BB\Pi}$ и отношения результативность/затраты $Q={\rm BB\Pi}/{\rm \Pi}\Theta$ (см. рисунок). Номер точки на рисунке соответствует порядковому номеру страны в таблице. Анализируя представленные на рисунке данные, можно заметить возможность выделения в представленном множестве T=f(Q) двух групп стран, каждая из которых с достаточной точностью описывается зависимостью вида $T=k(Q-Q_0)=k\Delta Q$ с различными значениями коэффициента наклона k. Здесь Q_0 и ΔQ характеризуют исходный уровень и, соответственно, действующее в системе

Основные экономические показатели крупнейших стран мира

№	Страна ВВП по паритету покупательной способности, млрд. долл.		Составляющие ВВП, % агрикультура, индустрия, обслуживание			Потребление электро- энергии, млрд. кВт·ч	
1	Европейский Союз	$14,38 \cdot 10^3$	2	27,1	70,7	$2,82\cdot 10^3$	
2	США	$13,84\cdot 10^3$	0,9	20,5	78,5	$3,816 \cdot 10^3$	
3	Китай	$6,991 \cdot 10^3$	10,3	48,6	40,1	$2,859 \cdot 10^3$	
4	Япония	$4,29\cdot 10^3$	1,5	26,5	72	974	
5	Индия	$2,99\cdot 10^3$	17,6	29,4	52,9	488,5	
6	Германия	$2,81\cdot 10^3$	0,8	29	70,1	545,5	
7	Великобритания	$2,14\cdot 10^3$	0,9	23,4	75,7	348,7	
8	Франция	$2,05\cdot 10^3$	2,2	21	76,7	451,5	
9	Бразилия	$1,84\cdot 10^3$	5,5	28,7	65,8	368	
10	Италия	$1,79\cdot 10^3$	1,9	28,9	69,2	307	
11	Испания	$1,32\cdot 10^3$	3,5	29,8	66,6	243	
12	Канада	$1,27\cdot 10^3$	2,1	28,8	69,1	540	
13	Южная Корея	$1,2\cdot 10^3$	3,0	39,4	57,6	368,6	
14	Мексика	$1,346\cdot 10^3$	4,0	26,6	69,5	183	
15	Россия	$2,09 \cdot 10^3$	4,7	39,1	56,2	985	
16	Турция	888	8,9	28,3	62,8	129	
17	Австралия	761	3,0	26,4	70,6	220	
18	Индонезия	838	13,8	46,7	39,4	108	
19	Иран	753	10,7	42,9	46,4	136	
20	Польша	621	4,1	29	54,9	120	
21	Аргентина	524	9,5	34	56,5	89	
22	Южная Африка	467	3,2	31,3	65,5	241	
23	Пакистан	410	19,6	26,8	53,7	67	
24	Швеция	334,6	1,4	28,9	69,8	134	
25	Украина	320	9,1	32,3	58,7	182	





Влияние отношения $Q = {\rm BBH}/{\rm H}$ Э на величину T- время, необходимое для производства страной валового продукта стоимостью в 1 млрд долл. Цифры у точек соответствуют номерам стран в таблице

значение отношения результативность/затраты. В группе *II* с Россией (*15*) соседствует Канада (*12*), близкая ей по климатическим условиям, ведущий производитель золота, серебра, урана, никеля, полностью обеспечивающая себя нефтью, занимающая третье место в мире по добыче газа, удовлетворяющая более 60 % потребности экономики США в этом виде топлива.

В эту же группу II с достаточно малыми значениями Q_0 входят Южная Корея (13), Австралия (17), Польша (20), Аргентина (21), Иран (19) страны с достаточно заметным сектором агрикультуры и тяжелой промышленности (горнорудная промышленность, металлургия, судостроение) при сравнительно слабо развитом финансовом секторе. В то же время, такие страны как Бразилия (9), Мексика (14), Индия (5), Турция (16), Индонезия (18), для которых также характерно наличие заметного аграрного сектора в экономике, уверенно попали в одну группу с высокоразвитыми европейскими странами, США и Японией (группа І) с существенно бульшим значением исходного уровня отношения результативность/затраты Q_0 . Для объяснения полученных результатов напомним, что уже на рубеже XX - XXI вв. в Японии и ведущих странах Западной Европы размеры невещного - «человеческого» капитала (капитализированные расходы на образование, здравоохранение, НИОКР) — превышали объем основного капитала примерно в два раза. Для США это отношение было еще больше, 2,4-2,6 раза, поскольку в США еще с конца 1980-х гг. под идею интенсивного развития выстраивалась вся иерархия институтов: образование, наука, предпринимательство, государственное управление. Как результат, инновационная рента (поддерживаемая всем институциональным потенциалом) является в настоящее время стержнем экономики США, обеспечивая пренебрежимо малые значения ΔQ . Следующие в фарватере институциональной политики США страны Запада (и Япония) должны были обеспечить большие значения отношения результативность/затраты и, соответственно, большие значения ΔQ , чтобы в условиях конкурентной борьбы добиться благополучного существования.

Для развивающихся стран, включившихся в догоняющее развитие, рост затрат на формирование «институционального фундамента» был (одновременно со значительным увеличением инвестиций в основной и «человеческий» капитал) важнейшим фактором включения в глобальную экономику. Доля инвестиций в совокупный фонд развития, включающий в себя обычные капиталовложения, а также расходы на образование, здравоохранение и НИОКР, уже в середине 1990-х гг. составила в Индонезии 40—41 % к ВВП, в Индии, 35—37 %, в Китае 50—51 % [5]. Уже к концу XX в. доля «человеческого» капитала в структуре совокупного производительного капитала в этих странах составила примерно 25—30 %, лишь немного уступая России (34 %) [5]. Это позволило данным странам, обладающим необходимым инвестиционным климатом и другими благоприятными возможностями (дешевая, в меру обученная и дисциплинированная рабочая сила, достаточно емкий внутренний рынок) реализовать переход к интенсивному экономическому развитию. Как результат, для таких стран, как Бразилия (9), Мексика (14), Индия (5), имело место существенное уменьшение значений Т (в отличие, например, от Южной Африки (22) или Пакистана (23)). Одновременно в новых странах интенсивного развития росла результативность государственных услуг, уменьшалась политическая нестабильность, обеспечивалось повышение уровня правового порядка, снижался уровень распространения коррупции — все то, что оценивается индексом институционального развития (ИИР). Как показано в работе [5], в 2001 г. по уровню ИИР Россия достигала только 24 % от уровня США, тогда как Индия -52 %, а Китай -44 %. Высокие значения исходного уровня отношения результативность/затраты Q_0 , характерные для стран интенсивного развития, могут быть объяснены, таким образом, как высокой результативностью государственного управления, так и умеренными социальными потерями.

CONTROL SCIENCES № 2 • 2009



выводы

Достигнутое Россией значение времени, необходимого для производства валового продукта стоимостью в 1 млрд долларов, T = 4,5 ч (примерно такое же как и у Бразилии (9), Великобритании (7), Испании (11), Италии (10), Франции (8)), peализовано при действующем значении результативность/затраты $\Delta Q = Q - Q_0 \approx 2$ долл./кВт ч (примерно равном величине ΔQ для Великобритании (7), Испании (11), Италии (10)). Toт факт, что этот результат достигнут при исходном уровне отношения результативность/затраты $Q_0 \approx 0.5$ долл./кВт · ч, значительно худшем по сравнению со странами группы I, где $Q_0 \approx$ ≈ 3,5 долл./кВт • ч, позволяет говорить о том, что российская экономика развивалась достаточно рационально даже в условиях преимущественно сырьевой направленности. В условиях несовершенства рыночной инфраструктуры и институтов такой результат мог быть достигнут российскими предприятиями лишь путем рационально-прагматичного использования основного и «человеческого» капитала (с учетом культурно-исторических особенностей) в режиме адекватного управления (самоуправления), как это было показано на примере градообразующих предприятий черной металлургии [6].

ЛИТЕРАТУРА

- Системный анализ и его приложения / С.А. Баркалов и др. — Воронеж: Научная книга, 2008.
- Клепарский В.Г., Клепарская Ек.В. Адекватность управления саморазвивающимися системами социально-экономической природы (на примере предприятий черной металлургии // Проблемы управления. — 2006. — № 5. — С. 23—29.
- 3. *Меламед И.И., Дягилев А.А.* Взаимодействие валового внутреннего продукта, потребления электроэнергии и нефти в мировой экономике // Управление развитием крупномасштабных систем, MLSD'2008, 1—3 октября 2008 г. Москва, Россия. Матер. II междун. конф. М., 2008. Т. II.
- www.CIA.gov/library/the-world-factbook (дата обращения 15.10.2008).
- Мельянцев В.А. Проблемы и факторы становления современного (интенсивного) экономического роста в странах Запада, Востока и в России // История и синергетика: Методология исследования. — М.: URSS, 2005. — 180 с.
- 6. *Клепарский В.Г., Клепарская Ек.В.* Изменения адекватности управления при переходе на траекторию интенсивного развития // Проблемы управления. 2008. № 3. С. 59—63.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Р.М. Нижегородцевым.

Клепарский Вадим Георгиевич — д-р физ.-мат. наук, вед. науч. сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ☎(495) 334-92-50, e-mail: kleparvg@ipu.ru.

XVII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ"

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН г. Москва, 16 декабря 2009 г.

Предполагается рассмотреть: проблемы и методы оценки безопасности различного типа; механизмы управления безопасностью; правовое регулирование вопросов безопасности; формирование структур систем управления безопасностью; теорию и методы принятия решений, связанные с безопасностью; прогнозирование и моделирование процессов управления безопасностью; планирование и стратегическое управление в системах обеспечения безопасности; методы построения средств информационной поддержки принятия решений в системах управления безопасностью; системы управления силами и средствами при управлении безопасностью. Продолжительность работы конференции — 1 день.

Заявки на участие в конференции принимаются по адресу: 117997 Москва, ГСП-7, Профсоюзная ул., 65, Институт проблем управления, лаб. 20, Оргкомитет международной конференции; ☎ (495) 334-89-59, ○ Conf20@ipu.rssi.ru УДК 330.4 (338.27)

ПРОИЗВОДСТВЕННАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ОЦЕНКА ОЖИДАЕМОГО ОБЪЕМА ПРОИЗВОДСТВА В АСПЕКТЕ КОНЦЕПЦИИ ГРАНИЧНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ

А.В. Барминский

Предложены рекомендации (стратегия управления факторами неэффективности) экономическому объекту, занимающемуся производством, по организации операций в целях максимизации эффективности его деятельности. Указанная стратегия разработана путем анализа производственной эффективности в модели производственного потенциала, построенной в рамках концепции граничной стохастической производственной функции. Дано сравнение предложенного подхода с классическим регрессионным анализом.

Ключевые слова: производственная функция, производственные факторы, стохастическая производственная функция, концепция граничной стохастической производственной функции, факторы неэффективности, производственная эффективность.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что классическая производственная функция в экономике выглядит следующим образом:

$$P_{i} = \exp(\beta_{0}) L_{i}^{\beta_{1}} K_{i}^{\beta_{2}}, \tag{1}$$

где P_i — объем производства некоторого экономического объекта в i-м наблюдении, i=1,...,p; L_i и K_i — объемы трудозатрат и сделанных капиталовложений соответственно; β_0 , β_1 и β_2 — параметры данного объекта, постоянные при всех i.

Иногда в функцию (1) включают и другие производственные факторы, влияющие на объем производства. Такой вид производственной функции характерен для детерминированного описания производственного процесса. Однако детерминированность функции (1) не позволяет учесть случайные факторы, присутствие которых неизбежно оказывает влияние на производственный процесс.

Настоящая работа посвящена описанию концепции, призванной устранить эти недостатки, и ее цель заключается в разработке приложения, расширяющего возможности применения данной концепции.

1. КОНЦЕПЦИЯ ГРАНИЧНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ И ПОНЯТИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ

Для устранения отмеченных недостатков вместо исходной функции (1) используют модель следующего вида, называемую стохастической производственной функцией:

$$P_i = \exp(\beta_0) L_i^{\beta_1} K_i^{\beta_2} \exp(\varepsilon_i), \tag{2}$$

где ε_i — случайная величина, характеризующая всевозможные случайные воздействия на объем производства объекта в i-м наблюдении. Поэтому здесь P_i , i=1,...,p, — это уже случайные величины (взаимно независимые и одинаково распределенные). Заметим, что целесообразна модель именно в такой форме. Действительно, прологарифмировав выражение (2), получим линейную зависимость

$$\ln P_i = \beta_0 + \beta_1 \ln L_i + \beta_2 \ln K_i + \varepsilon_i. \tag{3}$$

Обозначим $\ln P_i = Y_i$, $\ln L_i = x_{i1}$, $\ln K_i = x_{i2}$, логарифмы значений остальных возможных факторов обозначим через x_{i3} , ..., x_{in} (если же они не ис-



пользуются, то можно просто положить $x_{i3} = 0, ..., x_{in} = 0$). Тогда модель (3) примет вид:

$$Y_i = \beta_0 + \sum_{j=1}^n \beta_j x_{ij} + \varepsilon_j. \tag{4}$$

Дальнейшим этапом в нашем построении, согласно концепции «граничной» стохастической производственной функции, изложенной в работах [1, 2] и многих других, будет разделение всех случайных воздействий на «систематические», т. е. оказывающие неустраняемое влияние на объект и не зависящие от его организации, и «несистематические», т. е. обусловленные этим объектом, точнее присущей ему неэффективностью. Таким образом, $\varepsilon_i = V_i - U_i$, где V_i — случайная величина, характеризующая влияние на объем производства объекта в і-м наблюдении многих слабо существенных по отдельности систематических воздействий, поэтому оправданно считать, что величина V_i имеет нормальное распределение с нулевым математическим ожиданием и постоянной дисперсией, т. е. $V_i = N(0, \sigma_V^2)$; U_i — независимая от V_i случайная величина, характеризующая влияние факторов неэффективности на объем производства объекта в і-м наблюдении.

Плотность распределения случайной величины U_i , согласно своему экономическому смыслу, должна иметь носитель $(0, +\infty)$. Выбор же конкретного вида распределения определяется многими тонкостями, описание которых можно найти в некоторых работах. Наибольшее число исследований посвящено трем видам распределений величины U_i : экспоненциальному, так называемому «усеченному в нуле нормальному распределению» (общий вид плотности этого распределения указан в § 2) с нулевым или ненулевым параметром μ .

В построенной модели

$$P_i = \exp\left(\beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i x_{ij} + V_i - U_i\right)$$

представляет собой случайную величину, характеризующую «фактический» объем производства объекта в i-м наблюдении. Если же устранить из производственного процесса все факторы неэффективности, то, в силу упомянутого требования на свойства носителя распределения величины U_i , данный объем производства повысится до уровня

$$P_i^{pot} = \exp\left(\beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_j x_{ij} + V_i\right). \tag{4}$$

Объем производства, характеризуемый случайной величиной P_i^{pot} , в экономике принято называть «граничным» объемом производства, а соотношение (5) «граничной» стохастической производственной функцией или «моделью производственного потенциала».

Теперь введем понятие «производственной эффективности» TE_i («technical efficiency» в иностранных работах, которое в отечественных работах переводится дословно) объекта в i-м наблюдении. Данную величину в рамках концепции граничной стохастической производственной функции определим следующим образом:

$$TE_i \stackrel{def}{=} P_i/P_i^{pot} = \exp(-U_i).$$

Заметим, что TE_i является случайной величиной, с вероятностью 1 принимающей значения из интервала (0, 1) (т. е. плотность распределения величины TE_i имеет носитель (0, 1)), так как $0 < P_i < P_i^{pot}$ с вероятностью 1 или $U_i > 0$ с вероятностью 1. Ясно, что апостериорные оценки характеристик именно случайных величин TE_i представляют собой ключевой экономический интерес на этапе получения результатов после практического внедрения модели. Однако здесь возникает существенная трудность, обусловленная способом построения модели и связанная с тем, что случайные величины U_i ненаблюдаемы, т. е. выявить истинные значения их числовых реализаций невозможно. Выходом из данного положения представляется надлежащий подбор характеристик случайной величины TE_i . Такими наилучшими характеристиками являются, например, математическое ожидание и дисперсия случайной величины TE_i при условии, что случайная величина Y_i реализовалась и приняла значение y_i , т. е. математическое ожидание и дисперсия условной случайной величины $\{TE_i|Y_i=y_i\}$. Таким образом, выбрав наиболее подходящее распределение для случайных величин U_i , переходят к анализу случайных величин $\{TE_i|Y_i=y_i\}$.

2. РАСЧЕТ И АНАЛИЗ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Возьмем в качестве величин U_i взаимно независимые одинаково распределенные случайные величины, имеющие усеченное в нуле нормальное распределение с параметрами μ_{U_i} и σ_U , т. е. пусть



плотность распределения случайных величин U_i имеет вил:

$$f_{U_i}(u) = C_{\mu_{U_i} \sigma_U} \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_U} \exp\left(-\frac{\left(u - \mu_{U_i}\right)^2}{2\sigma_U^2}\right)$$
 при $u > 0$ и 0 при $u < 0$,

где $C_{\mu_{U_i},\,\sigma_U}$ — нормировочная константа, $\mu_{U_i} = \delta_0$ +

+
$$\sum_{k=1}^{m} \delta_k z_{ik}$$
; δ_0 , δ_1 , ..., δ_m — числовые параметры мо-

дели; $z_{i1}, ..., z_{im}$ — значения каждого из m факторов неэффективности, влияющих на объем производства объекта в i-м наблюдении.

Выбор распределения случайных величин U_i именно в такой форме сделан автором по следующим причинам. Прежде всего, ясно, что данное распределение удовлетворяет упомянутому требованию на свойства носителя. Далее, что самое важное в нашей ситуации, данный вид распределения позволяет использовать его параметр μ_{U_i} для идентификации факторов неэффективности, т. е. в некотором роде понять, насколько изменение каждого конкретного фактора неэффективности влияет на объем производства объекта в i-м наблюдении. Идея использования именно такого распределения и, в особенности, параметра μ_{U_i} в указанной форме предложена авторами работы [3].

Следующий этап нашего построения состоит в получении оценок вектора $\mathbf{\theta} = (\sigma_U, \sigma_V, \delta_m, ..., \delta_1, \delta_0, \beta_n, ..., \beta_1, \beta_0)$ параметров модели на основе наблюдений $y_1, ..., y_p$, например, методом максимального правдоподобия (другие методы не будут проще в смысле вычислений). Это сама по себе сложная задача, требующая долгих теоретических вычислений (выведения логарифмической функции правдоподобия и ее частных производных) и применения численных методов поиска точки локального максимума функции многих переменных. Лучшей программой по приближенному вычислению этих оценок на текущий момент является австралийская «FRONTIER Version 4.1».

Всю необходимую теоретическую подготовку удалось осуществить и автору данной работы независимо от результатов австралийских исследователей. Кроме того, на основе этих теоретических результатов автором также была составлена программа. Эта программа (705 строк) представляет собой макрос в Excel, реализованный на языке Visual Basic for Application. Важно отметить, что полученные автором теоретические результаты,

которые будут описаны далее в § 3, имеют самостоятельную ценность, т. е. не важно, какой программный продукт используется для промежуточных вычислений — программа автора или программа «FRONTIER Version 4.1».

Итак, перейдем к расчету и анализу экономических показателей производственной деятельности экономического объекта на основе статистических данных (измерений некоторых факторов этого объекта). Рассмотрим производственный объект (предприятие) со следующими факторами, измерения которых осуществлялись в течение некоторого времени:

- результат производственной деятельности P_i объем произведенной продукции (в денежном выражении, т. е. в ценах, установленных этим предприятием на свою продукцию, которые были постоянны в течение всего времени наблюдения) за i-й период наблюдения (день), i = 1, ..., 60;
- производственные факторы:
- L_i объем трудозатрат (в денежном выражении) за i-й период наблюдения (зарплата персоналу и т. п.);
- K_i объем сделанных капиталовложений (в денежном выражении) за i-й период наблюдения;
- факторы неэффективности, действовавшие в производственном процессе в течение *i*-го периода наблюдения:
 - z_{i1} процент сырья низкого качества;
 - z_{i2} процент устаревшего оборудования;
- z_{i3} процент персонала низкой квалификашии.

Все измерения указанных факторов сведены в таблицу (о содержании последнего столбца таблицы будет сказано чуть далее).

Применение программы к исходным данным позволяет от начального приближения $\mathbf{\theta}^0$ = = (0.581771; 0.426903; 0.000000; 0.000000; 0.0000000;0,000000; 0,150734; -0,167316; 2,915334) c cootветствующим значением логарифмической функции правдоподобия $L(\mathbf{\theta}^0) = -49,231512$ подняться в направлении градиентов до приближения $\theta^{50} =$ = (0.481308; 0.000048; 0.146996; 0.091227; 0.045328;-2,259680; 0,702475; 0,214623; 1,699819) c cootветствующим значением логарифмической функции правдоподобия $L(\theta^0) = -39,857161$. Можно также вычислить значения стандартных ошибок и *t*-статистик, соответствующих оценкам параметров. Однако в рамках концепции граничной стохастической производственной функции распределение t-статистики (отношения оценки параметра к его стандартной ошибке) не является распределением Стьюдента, так как распределе-



Исходные данные и результат

Исходные данные							Результат:
i	$y_i = \ln P_i$	$x_{i1} = \ln L_i$	$x_{i2} = \ln K_i$	z_{i1}	z_{i2}	z_{i3}	$\mathbf{E}\{T\vec{E}_i Y_i=y_i\}$
1	1,547725	2,242410	3,559169	5,028	32,668	7,981	0,043561
2	1,789859	1,535361	4,347655	2,357	38,902	6,675	0,037120
3	2,037594	1,628260	4,497574	2,651	40,228	7,323	0,041957
4	2,581201	1,596353	3,575095	2,548	32,781	5,707	0,139088
5	2,486406	2,165275	3,327838	4,688	31,075	7,206	0,133207
6	1,726807	0,639133	4,523678	2,408	40,464	5,289	0,037330
7	1,903152	1,354796	4,584018	1,835	41,013	6,210	0,036604
8	1,752830	1,845932	4,407743	3,407	39,428	8,136	0,032081
9	2,679239	0,854415	3,660377	2,730	33,398	3,127	0,169436
10	2,620530	0,732505	4,403800	2,537	39,393	5,323	0,097290
11	3,333157	1,233143	2,248762	1,521	25,057	2,773	0,809757
12	3,614102	1,394511	4,090771	1,945	36,073	5,591	0,284030
13	2,419034	2,763116	4,292239	4,311	38,423	8,912	0,055632
14	2,223217	2,286744	3,192532	4,116	30,192	6,477	0,109694
15	3,536392	1,671136	4,180216	1,139	37,474	4,461	0,232565
16	3,269752	0,891998	4,156364	2,796	37,275	3,707	0,214113
17	3,907720	2,657229	4,816139	4,267	36,660	8,431	0,174537
18	2,838728	1,667776	4,284607	1,138	38,358	4,571	0,107651
19	3,071118	0,981329	4,232888	2,963	37,917	4,154	0,163194
20	2,937679	1,439835	4,504623	2,073	36,406	5,832	0,106934
21	2,839195	0,978702	4,475551	2,958	40,031	4,380	0,109193
22	3,677591	0,898127	3,427157	2,807	31,745	3,078	0,536613
23	3,779345	1,392161	4,540461	1,080	40,616	4,719	0,244431
24	2,915009	0,823256	3,582435	2,678	32,834	2,949	0,228078
25	2,854421	1,164752	4,546099	1,357	40,667	5,295	0,101378
26	3,496386	1,183260	4,561981	1,400	40,812	5,398	0,189747
27	2,259634	1,909839	4,385458	3,647	39,232	8,376	0,053357
28	2,810547	1,487270	3,909740	2,212	35,286	5,815	0,141569
29	3,309064	0,459322	3,943098	2,211	29,575	5,421	0,283863
30	2,880076	0,976128	3,656537	2,953	33,370	5,357	0,202328
31	3,263844	1,816289	1,671849	3,299	22,795	3,037	0,999777
32	2,506818	0,736055	0,924259	2,542	20,854	5,680	0,999756
33	3,819890	0,670390	3,726777	2,449	33,889	2,498	0,526356
34	2,311049	2,100347	4,225212	4,411	37,852	8,874	0,060346
35	2,955011	1,399951	4,351000	1,960	38,931	6,091	0,122244
36	2,459246	1,615221	4,354296	2,609	38,960	7,033	0,070933
37	2,475160	1,936869	4,594150	3,751	41,106	8,898	0,056833
38	2,679033	2,128827	3,755135	4,532	34,101	7,994	0,120565
39	3,506179	0,917490	4,900186	2,842	36,728	3,753	0,159963
40	2,540263	1,885553	2,895083	3,555	28,382	5,459	0,202309
41	2,555676	1,966972	3,282827	3,869	30,777	6,457	0,153754
42	2,762602	2,844291	3,921736	4,345	35,380	8,175	0,100000
43	2,203681	1,588419	4,479403	2,523	40,065	7,115	0,050604
44	3,023882	1,905386	3,416119	3,630	31,670	6,509	0,226590
45	3,054378	1,433893	4,562618	2,056	40,817	6,542	0,115520
46	2,525168	1,515347	3,602886	2,296	32,981	5,460	0,131228
47	3,475470	1,977270	4,492136	3,910	40,179	8,882	0,164585
48	2,745667	2,257692	3,369191	5,097	31,351	7,607	0,164396
49	2,596299	1,583299	3,912383	2,507	35,307	6,194	0,111729
50	2,325129	2,231304	3,713475	4,979	33,790	8,286	0,085247
51	2,992076	1,629851	4,143944	1,130	37,172	4,405	0,139658
52	3,293538	2,900105	4,110743	4,368	36,898	8,591	0,147135

Окончание таблицы

Исходные данные							Результат:
i	$y_i = \ln P_i$	$x_{i1} = \ln L_i$	$x_{i2} = \ln K_i$	z_{i1}	z _{i2}	z_{i3}	$\mathbf{E}\{T\check{E}_i Y_i=y_i\}$
53	2,578646	2,158253	4,544985	4,658	40,657	9,809	0,062217
54	2,546942	1,231685	3,671530	1,517	33,480	4,522	0,135826
55	2,913003	0,651283	4,364728	2,424	39,051	2,843	0,136326
56	2,988355	1,820833	4,164756	3,315	37,345	7,583	0,131613
57	1,184484	1,972413	0,704585	3,890	20,005	5,139	0,238446
58	3,061426	2,233128	4,467332	4,987	39,957	9,976	0,104783
59	3,300419	2,584732	4,999952	4,237	36,810	8,440	0,084883
60	2,646529	1,726510	3,789132	2,981	34,358	6,542	0,124232

ние случайных величин Y_i не является нормальным. Поэтому проверка гипотез о статистической значимости параметров с помощью t-статистики затруднена. При сравнении же моделей (идет ли речь о способе построения модели, о включении в нее тех или иных факторов, о выборе распределения случайных составляющих или же о доверии полученным оценкам параметров) в каждом конкретном случае (для каждой конкретной выборки $y_1, ..., y_p$) предпочтение следует отдавать той модели, которой соответствует большее значение логарифмической функции правдоподобия. Пример подобного сравнения будет разобран в Заключении данной работы.

Относительно текущих расчетов отметим лишь, что положительность оценок параметров δ_1 , δ_2 и δ_3 свидетельствует о правильной интерпретации воздействий z_{i1} , z_{i2} и z_{i3} как факторов неэффективности. Наконец, значения $E\{TE_i|Y_i=y_i; \theta^{50}\}$ оценок математического ожидания условной случайной величины $\{TE_i|Y_i=y_i\}$, соответствующие каждому из периодов наблюдения, приведены в последнем столбце таблицы. Как видим, наиболее эффективной оказалась производственная деятельность объекта в течение 31-го периода наблюдения $\{E\{TE_{31}|Y_{31}=y_{31}; \theta^{50}\}=0,999777\}$, а наиболее неэффективной оказалась производственная деятельность объекта в течение 8-го периода наблюдения $\{E\{TE_{8}|Y_{8}=y_{8}; \theta^{50}\}=0,031081\}$.

3. ЗАДАЧА МАКСИМИЗАЦИИ ОЦЕНКИ ОЖИДАЕМОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ И ОЦЕНКА ОЖИДАЕМОГО ОБЪЕМА ПРОИЗВОДСТВА

Вернемся к нашему построению. Итак, пусть мы получили вектор $\breve{\mathbf{\theta}} \stackrel{\textit{def}}{=} (\breve{\sigma}_U, \ \breve{\sigma}_V, \ \breve{\delta}_m, ..., \ \breve{\delta}_1, \ \breve{\delta}_0, \ \breve{\beta}_n, ..., \ \breve{\beta}_1, \ \breve{\beta}_0)$ требуемых оценок максимального правдоподобия.

Зададимся вопросом: как вести себя рассматриваемому экономическому объекту, чтобы оказаться максимально эффективным в будущем, и что понимать под этими фразами, выделенными курсивом? Это постановка нашей задачи. Построим математическую модель для ее решения, т. е. выберем критерий. В качестве такого критерия (цели объекта на будущее) автор предлагает взять максимизацию оценки ожидаемой производственной эффективности (на этот раз безусловной, так как рассуждения проводятся априорно), т. е.

$$E\{TE; \check{\theta}\} \to \max.$$
 (5)

В исследовании автора показано, что логарифмы $x_1, ..., x_n$ значений производственных факторов не оказывают влияния на достижение объектом своей цели (5), чего и следовало ожидать, согласно экономическому смыслу, в отличие от вектора $\mathbf{z} \stackrel{\text{def}}{=} (z_1, ..., z_m)$ значений факторов неэффективности. Однако вариация значений факторов неэффективности, осуществляемая объектом, ограничена многими причинами. Например, некоторые из этих факторов могут быть неуправляемыми, затем, объект может быть ограничен в финансовых затратах на проведение этих вариаций и т. д. В исследовании автора показано, при каких условиях задача (5) имеет решение (обозначим его через $\mathbf{z}^0 \stackrel{\text{def}}{=} (z_1^0, ..., z_m^0)$, а соответствующее ему значение оценки ожидаемой производственной эффективности — через $\mathit{TE}_{\max \ \exp}$), а также описан способ его получения в этих условиях.

Таким образом, поставленная задача полностью решена. Под фразой «вести себя» автор подразумевал вариацию значений факторов неэффективности, а чтобы оказаться «максимально эффективным» (напомним, что под этим имелась в виду максимизация оценки безусловного математического ожидания производственной эффективнос-



ти) в будущем с точки зрения выбранного критерия, объекту достаточно придать факторам неэффективности значения z_1^0 , ..., z_m^0 . При этом оценка безусловного математического ожидания его производственной эффективности составит $TE_{\max \exp}$ и будет наибольшей среди всех возможных. Это и есть искомые рекомендации объекту по организации операций в будущем.

Теперь априорно оценим (предскажем) ожидаемый объем производства объекта, который последовал рекомендациям автора. Итак, пусть $x_1, ..., x_n$ — логарифмы предполагаемых значений производственных факторов. В исследовании автора показано, что искомая оценка

$$P_{p+1} \stackrel{\text{def}}{=} TE_{\text{max exp}} \exp(\tilde{\beta}_0 + 0.5\tilde{\sigma}_V^2) \times L^{\tilde{\beta}_1} K^{\tilde{\beta}_2} (\exp(x_3))^{\tilde{\beta}_3} \cdot \dots \cdot (\exp(x_n))^{\tilde{\beta}_n},$$

а также предложен способ максимизации оценки P_{p+1} ожидаемого объема производства объекта при наличии ограничений на вариацию значений производственных факторов, а следовательно, и максимизации оценки его ожидаемой прибыли (в абсолютном выражении) в имеющихся условиях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ.

КОНЦЕПЦИЯ ГРАНИЧНОЙ СТОХАСТИЧЕСКОЙ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ФУНКЦИИ И КЛАССИЧЕСКИЙ РЕГРЕССИОННЫЙ АНАЛИЗ: СРАВНЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Вернемся к рассмотрению производственного объекта, описанного в § 2. Представим себе следующую ситуацию. Пусть его руководство выделило средства (с целью повышения эффективности производственного процесса), которых достаточно для закупки нового оборудования, доведя тем самым процент устаревшего оборудования до 5 %. С другой стороны, пусть в то же время у руководства есть возможность заменить часть нового оборудования устаревшим (с доплатой), доведя тем самым процент устаревшего оборудования до 50 %. Тогда, в целях борьбы с неэффективностью, очевидно, выгоднее первая стратегия поведения. То же следует и математически из решения задачи (5). Ограничимся здесь рассмотрением только этого простого иллюстративного примера, хотя на практике почти всегда встречаются крайне неочевидные ситуации (управляемость несколькими факторами неэффективности с наличием отрицательных параметров среди $\delta_1,...,\delta_m$ и ограничениями на совокупное воздействие), для разрешения которых и был придуман аппарат § 3.

Итак, на что же может рассчитывать наше предприятие, какова априорная оценка его ожидаемого объема производства за 61-й период наблюдения, скажем, при 5 % сырья низкого качества и 5 % персонала низкой квалификации? Ответ на этот вопрос дает следующее соотношение:

$$P_{p+1} = 4,569253L^{0,214623}K^{0,702475},$$

на основе которого также можно сделать и некоторые экономические выводы о текущем положении дел на исследуемом объекте (эластичностях и т. п.).

Теперь получим ответ на тот же вопрос с позиций классического регрессионного анализа. Итак, применение обыкновенного метода наименьших квадратов (МНК) для тех же исходных данных (построение классической нормальной линейной регрессионной зависимости объема производства от производственных факторов без учета факторов неэффективности) приводит нас к тому, что при априорной оценке ожидаемого объема производства следует использовать соотношение

$$P^{OLS} = 11,601663L^{-0,167316}K^{0,150734}. (6)$$

При этом значение F-статистики составляет 2,319484, что меньше критического значения $F_{0,95}(2;57)=3,158843$, т. е. уравнение регрессии (6) не является статистически значимым на 5%-м уровне. Этого уже достаточно, чтобы сказать, что доверять ему не следует.

Попробуем включить факторы неэффективности z_{i1} , z_{i2} и z_{i3} в список объясняющих переменных наряду с x_{i1} и x_{i2} , т. е. построим классическую нормальную линейную регрессионную зависимость объема производства от производственных факторов и факторов неэффективности. Тогда применение обыкновенного МНК приводит нас к соотношению

$$P^{OLS} = 51,455860L^{0,269280}K^{0,818891}(\exp(z_1))^{-0,052213} \times (\exp(z_2))^{-0,104077}(\exp(z_3))^{-0,156488}.$$
 (7)

При этом значение F-статистики составляет 5,122700, что больше критического значения $F_{0,95}(5;54)=2,386070$, т. е. уравнение регрессии (7) статистически значимо на 5%-м уровне. Стандартный регрессионный анализ (воспроизводить здесь промежуточные вычисления не будем) указывает на статистическую незначимость параметров β_1 и δ_1 в уравнении (8).

Исключим факторы x_{i1} и z_{i1} из списка объясняющих переменных $x_{i1},\ x_{i2},\ z_{i1},\ z_{i2}$ и $z_{i3}.$ Тогда при-



менение обыкновенного МНК приводит нас к соотношению

$$P^{OLS} = 58,452246L^{0.826722} \times (\exp(z_2))^{-0.108762} (\exp(z_3))^{-0.110204}.$$
 (8)

Подобрав значение z_2 , максимизирующее P^{OLS} (в случае данного примера это несложно — ответом, очевидно, будут те же 5 %), получаем соотношение, дающее априорную оценку ожидаемого объема производства:

$$P = 19,557889K^{0,826722}$$

Значение F-статистики составляет 7,788282, что больше критического значения $F_{0,95}(3; 56) = 2,769431$, т. е. уравнение регрессии (8) статистически значимо на 5%-м уровне. Далее, стандартный регрессионный анализ указывает на статистическую значимость всех параметров в уравнении (8). Наконец, анализ остатков показывает, что их выборочное среднее равно нулю, а наблюденный уровень значимости критерия хи-квадрат Пирсона проверки гипотезы об их нормальности оказывается равен 0,655790. Таким образом, все условия теоремы Гаусса—Маркова для модели (8) выполняются и применение классического нормального линейного регрессионного анализа к исходным данным вполне оправданно.

Теперь заметим, что максимум логарифмической функции правдоподобия для модели (8) составляет (-41,492044), а максимум логарифмической функции правдоподобия, полученный в § 2, составляет (-39,857161). Возникает вопрос: стоил ли стольких усилий столь незначительный выигрыш? Так, если требуется получить только «предсказание», то в нашем конкретном случае пользоваться логичнее той моделью, которая проще в смысле вычислений, т. е. основана на обыкновенном МНК. Тем более, что эта модель обладает неоспоримыми преимуществами по сравнению с моделью, основанной на концепции граничной стохастической производственной функции. В самом деле, достаточно упомянуть лишь о возможности проверки статистической значимости уравнения модели и его параметров. Это невозможно в рамках концепции граничной стохастической производственной функции, так как не выполняются условия теоремы Гаусса-Маркова.

Однако дополнительной информацией, которую можно получить на основе имеющихся данных, применяя концепцию граничной стохастической производственной функции, и невозможно получить, применяя классический регрессионный

анализ, служат производственные эффективности производственного процесса в течение каждого прошедшего периода наблюдения. Зачастую данная информация бывает очень существенной, и именно для ее получения и была создана указанная концепция. Сравнение эффективностей позволяет выявить самые эффективные и, что еще важнее, самые неэффективные периоды деятельности экономического объекта. Решение же о том, нужна ли такая информация, принимается каждым аналитиком в соответствии с его личными целями и целями руководства исследуемого экономического объекта. Заметим лишь, что данная информация появляется апостериори, т. е. это информация на основе прошлого о прошлом. Цель же данной статьи состояла в разработке приложения, которое смогло бы существенно расширить результативность и возможности концепции, позволив оценивать будущее.

Таким образом, если есть намерение применить к каким-то данным концепцию граничной стохастической производственной функции, то, по мнению автора, будет очень разумным и полезным сравнить полученные на ее основе результаты с результатами, которые позволит получить лучшая из возможных моделей, основанных на классическом регрессионном анализе.

В заключение автор выражает признательность рецензентам за внимательное прочтение рукописи и полезные замечания, а также Е.В. Чепурину, Л.А. Муравью и С.А. Панову за понимание и поддержку.

ЛИТЕРАТУРА

- Aigner D.J., Lovell C.A.K., Schmidt P. Formulation and estimation of stochastic frontier production function models // Journal of Econometrics. 1977. Vol. 6. P. 21—37.
- Meeusen W., van den Broeck J. Efficiency estimation from Cobb — Douglas production functions with composed error // International Economic Review. — 1977. — Vol. 18. — P. 435— 444.
- Battese G.E., Coelli T.J. Prediction of firm-level technical efficiencies with a generalised frontier production function and panel data // Journal of Econometrics. 1988. Vol. 38. P. 387—399.

Статья представлена к публикации членом редколлегии A.C. Манделем.

Барминский Александр Владимирович —

ассистент кафедры высшей и прикладной математики, ГОУ ВПО «Международный университет природы, общества и человека «Дубна», ☎8 (496) 212-24-65, e-mail: a_barminsky@mail.ru.

46



УДК 338.45: 678.5;470.43

РАЗВИТИЕ ПОЛИМЕРНОГО КОМПЛЕКСА РЕГИОНА НА БАЗЕ КЛАСТЕРНОГО ПОДХОДА (НА ПРИМЕРЕ САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ)

С.Ю. Ягудин, Л.Ю. Дубов

Описаны преимущества кластерного подхода перед классическими методами управления развитием промышленности на уровне региона. Показана необходимость разработки комплексной стратегии устойчивого развития территориально-отраслевого кластера конкретного региона. Определены основные направления и меры повышения эффективности развития полимерного комплекса на примере Самарской области.

Ключевые слова: региональный полимерный комплекс, кластерный подход, стратегия развития.

ВВЕДЕНИЕ

Для выживания и развития региона и бизнеса в новых условиях на смену устаревшим подходам должны прийти новые технологии управления региональным развитием, адаптированные к применению в обществе, вооруженным знаниями и последними достижениями экономики и гуманитарных наук.

Новые подходы предполагают косвенное воздействие на промышленное развитие через создание условий для развития бизнеса. Кластерный подход — один из них.

Под кластером понимают сеть поставщиков, производителей, элементов промышленной инфраструктуры, исследовательских институтов, взаимосвязанных в процессе создания добавочной стоимости [1].

Кластерами также называют локализованные на определенной территории межотраслевые образования, включающие в себя всю цепочку взаимосвязанных видов деятельности от производства до конечного продукта и сферы услуг. Для современной экономики характерны разветвленные сети предприятий, работающих в кооперации друг с другом, такие образования дают синергетический и мультипликативный эффекты. Кластерные инициативы могут составить новый вектор качества экономического роста в крупных промышленно развитых российских регионах с высокой концентрацией обрабатывающих производств. Анализ зарубежного опыта показывает, что именно в рамках кластеров наиболее эффективно решаются задачи,

связанные с обеспечением конкурентоспособности предприятий. В практическом плане такой подход важен в первую очередь тем, что дает возможность сформировать и реализовать крупные межотраслевые и межрегиональные инвестиционные и инновационные проекты национального значения.

Развитие кластеров дает ряд преимуществ. Увеличивается число налогоплательщиков и налогооблагаемая база (центры управления малым и средним бизнесом, как правило, находятся на той же территории, что и сам бизнес, в отличие от вертикальных корпораций), появляется удобный инструмент для взаимодействия с бизнесом, снижается зависимость от отдельных бизнес-групп, появляются основания для диверсификации экономического развития территории. Улучшается кадровая инфраструктура; появляется инфраструктура для исследований и разработок; снижаются издержки; появляются возможности для более успешного выхода на международные рынки.

Развитие кластеров сконцентрирует усилия бизнеса и органов государственной власти на развитии и создании новых высокотехнологичных секторов производства. В этой связи приоритетной представляется задача создания национальной системы поддержки развития экономических кластеров и формирования соответствующей институциональной среды. Перспективные экономические кластеры должны формироваться при серьезной поддержке государства в тех регионах-локомотивах, где имеется значительный промышленный и научный потенциал.

Существует ряд условий, которые могут как способствовать, так и препятствовать развитию



кластеров в России. Специалисты относят к позитивным условиям следующие: существование технологической и научных инфраструктур; психологическая готовность к кооперации. К сдерживающим факторам развития кластеров относят: низкое качество бизнес-климата, низкий уровень развития ассоциативных структур (торговых палат, промышленных ассоциаций), которые не справляются с задачей выработки и продвижения приоритетов и интересов регионального бизнеса; краткосрочный горизонт планирования — реальные выгоды от развития кластера появляются только через 5—7 лет [2].

Последний факт заставляет обратить внимание на вопрос о масштабе управления региональным развитием. Когда масштаб ограничен четырьмя годами (предвыборный цикл), то говорить о какой-либо долгосрочной стратегии невозможно. Следовательно, говорить об успешной реализации проектов по специальному стимулированию кластеров можно только при наличии региональной стратегии. Развивать кластер в отрыве от развития региона в целом неэффективно. Недаром один из основоположников кластерного подхода М. Портер в своей методике в качестве одного из наиболее важных факторов для успешного развития кластера называет наличие устойчивой стратегии [3].

Для успешной реализации региональные стратегии и стратегии развития отдельных кластеров должны быть взаимно согласованы. При разработке региональной стратегии надо учесть, какие ключевые точки роста существуют в регионе, и что могут дать различные группы интересов для развития этих ключевых точек роста. В то же время при выявлении перспективных кластеров и при планировании их развития обязательно должны быть учтены рамки региональных стратегий. В современных условиях речь идет не столько о том, что необходимость развития определенного кластера должна быть прописана в региональной стратегии, а о том, что должен существовать консенсус между деловыми и административными элитами региона о необходимости развития кластера.

В связи с этим региональное экономическое развитие на основе стимулирования кластеров предполагает инициативу и совместные усилия бизнеса и администраций. Роли, которые должны играть администрации и бизнес при развитии отраслевых кластеров, разные, но взаимодополняющие. Роль администрации может состоять в поддержке и инициировании процессов активации кластеров. Региональные администрации практически всегда сильно вовлечены в деятельность бизнеса. Бизнес же часто оказывает сильное влияние на администрацию. Поэтому особенно важно участие администрации в кластерных совещаниях и принятии решений, касающихся развития клас-

теров. Существует высокоэффективный способ стимулирования кластеров, который есть у администраций, этот инструмент — целевые программы. Они могут оказать существенное влияние на развитие кластера. Администрация может проводить активную работу в построении взаимодействия между различными субъектами развития кластера, а также заниматься урегулированием различных вопросов кластера между другими уровнями власти.

1. ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАЗВИТИЯ ПОЛИМЕРНОГО КОМПЛЕКСА В САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

В основу кластерной политики положен учет особенности развития конкретного региона, а именно: сферы деятельности, составляющие основу перспективной специализации экономики региона и имеющие высокий потенциал роста и конкурентоспособности. Так, в Самарской области наиболее мощными и конкурентоспособными секторами являются автомобилестроение, авиационно-космический комплекс и нефтехимия. Именно в них формируются кластеры, ядром которых становятся крупные промышленные предприятия. При этом в регионе располагается третья в мире по величине и единственная в стране двухядерная Самарско-Тольяттинская агломерация. Здесь сосредоточено более 80 % промышленного производства области, 70 % инвестиций и 90 % товарооборота, сложились мощные производственные, научно-технические, проектные и образовательные комплексы. Данные преимущества должны быть использованы, что будет способствовать распространению инноваций.

Самарская область входит в пятерку наиболее развитых регионов страны. Стратегия развития области строится на основе формирования высокотехнологичных кластеров. Область стала одним из первых субъектов РФ, принявших для управления своим стратегическим развитием кластерный подход [4].

Применение кластерного подхода в управлении отдельным регионом в современных условиях позволит повысить эффективность его функционирования и выступит гарантом устойчивого развития в перспективный период.

Потенциал развития кластера в промышленности Самарской области представлен на рис. 1.

В основе выявления кластеров лежит соотносительная оценка масштабов и степени концентрации производства в отдельных секторах экономики и оценка интенсивности и направления динамики их развития.

На основе представленных данных (см. рис. 1) к одним из конкурентоспособных в Самарской области следует отнести нефтегазохимический территориально-отраслевой кластер, в который в ка-



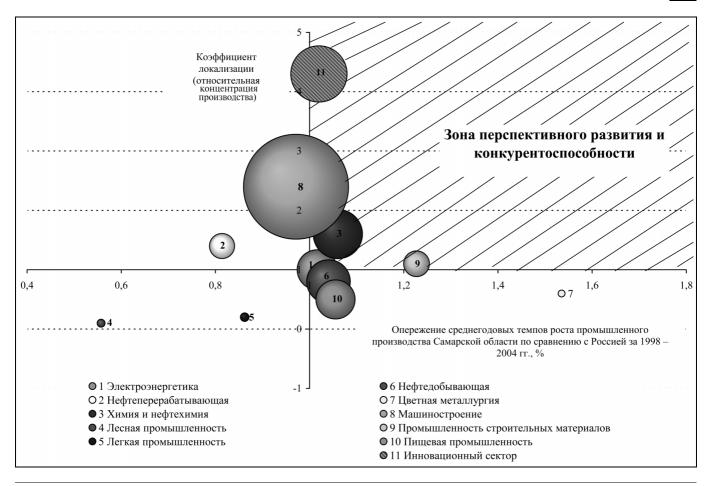


Рис. 1. Характеристика потенциала развития кластеров в промышленности Самарской области (диаметр круга = объем производства отрасли в 2004 г. в действующих ценах)

честве подкластера входит химическая и нефтехимическая промышленность области.

Нефтехимический кластер предполагается развивать на основе существующего на территории Самарской области производственного комплекса, так как практически все основные производства химической и нефтехимической промышленности области преодолели кризисный период (до 1998 г.) и сегодня характеризуются динамичным развитием.

Основное направление развития химического комплекса связано с тем, что оно выступает одним из направлений структурной перестройки промышленности области на выпуск продукции с высокой добавленной стоимостью, обеспечивающей интенсификацию развития сельского хозяйства, строительства, отраслей машиностроения, а также удовлетворение потребности в товарах для населения.

В нефтехимическом кластере области (рис. 2.) предполагается реализация крупных стратегических проектов, один из которых состоит в организации производств новых полимерных материалов.

Особенно важна в рассматриваемом кластере высокоразвитая инфраструктура, которая выступает одним из конкурентных преимуществ Самарской области, способствует развитию ведущего сектора в структуре экономики региона — промышленного производства (в том числе и нефтехимического), обеспечивает значительную концентрацию на территории области крупных российских и зарубежных компаний, способствует высокому инновационному потенциалу и развитию инновационной деятельности. К ее основным элементам относятся:

- предприятия по транспортировке нефти, газа, нефтепродуктов, аммиака, железнодорожный, автомобильный, речной, воздушный транспорт;
 - предприятия сервисных услуг;
- экологическая, финансовая, инвестиционно-инновационная, образовательная, научно-техническая инфраструктура и др.

В целях дальнейшего развития указанного нефтехимического кластера в 2006 г. ОАО «НИИТЭХИМ» было проведено исследование, посвященное проблеме создания и дальнейшего развития поли-



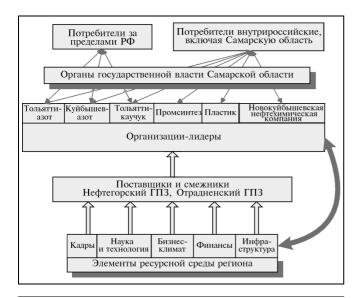


Рис. 2. Структура нефтехимического подкластера Самарской области

мерного комплекса в Самарской области, который, в свою очередь, входит как составная часть в нефтегазохимический комплекс рассматриваемого региона.

Основная цель разработки стратегии состоит в повышении уровня конкурентоспособности полимерного комплекса (и в целом нефтегазохимического) на основе инновационного развития материально-технической базы, обеспечивающей его устойчивое эффективное функционирование и максимальный вклад в решение социально-экономических проблем региона и страны.

Основные предпосылки формирования и развития полимерного комплекса в Самарской области по сравнению с другими регионами:

- наличие емких рынков химической продукции в области и соседних регионах России;
- наличие значительных ресурсов углеводородного сырья в связи с выраженной специализацией региона в нефтепереработке;
- высокая концентрация научного, образовательного и производственно-технического потенциала;
 - благоприятное географическое расположение;
- наличие трудовых ресурсов с высокой экономической активностью населения, развитая инфраструктура и др.

Несмотря на наличие стимулирующих факторов развития полимерного комплекса, существует ряд системных проблем в Самарской области, а именно:

— неполная загрузка мощностей по пластпереработке из-за дефицита сырьевых ресурсов и недостаточного спроса на отечественном рынке, а

также вследствие низкого уровня конкурентоспособности выпускаемой продукции;

- низкий удельный вес прогрессивных видов синтетических смол, а также отставание области от отечественных и зарубежных производителей по их марочному ассортименту;
- недоиспользование производственного потенциала по нефтепереработке и переработке попутного нефтяного газа.

2. ПРЕДЛОЖЕНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ПРОИЗВОДСТВ НОВЫХ ВИДОВ ПОЛИМЕРНОЙ ПРОДУКЦИИ

При обосновании развития производства новых видов полимерной продукции были рассмотрены следующие варианты: олефиновое направление — организация производств по пиролизу с получением этилена, пропилена, бензола, бутилендивинильной фракции, а также на базе полученного сырья развитие полиолефинового, полиолефино-полиуретано-гликолевого комплексов; направление производства ароматических продуктов — производство бензола, параксилола, терефталевой кислоты, полиэтилентерефталата и ортоксилола.

Из всех рассматриваемых вариантов рекомендуется создание полиолефино-полиуретано-гликолевого комплекса. Данный вариант по экспертной оценке в наибольшей степени отвечает потребностям рынка.

Производимая ими продукция будет использована по ряду направлений:

- линейный полиэтилен для производства полимерных пленок различного назначения, тары и упаковки из полимерных материалов;
- полипропилен преимущественно для изготовления изделий производственно-технического назначения;
- простые полиэфиры для производства мягких полиуретанов для автомобильной промышленности, изготовления мебели и жестких полиуретанов для использования в строительстве;
- полистирол в качестве конструкционного материала для производства листов, тары, упаковки;
- этиленгликоль для производства антифризов и полиэтилентерефталата для полиэфирного волокна и полимерной тары.

В результате анализа современного состояния и перспективного развития рынка полимерной продукции Самарской области прогнозируется рост спроса на «конечные» виды продукции, такие как изделия пластпереработки. Самарская область полностью обеспечит собственную потребность по таким полимерам, как полиэтилен, полипропилен, полистирол, поликарбонаты, полиамиды и пенополиуретан. В свою очередь, дефицитными



продуктами в области останутся поливинилхлорид и полиэтилентерефталат.

Основные результаты, достигаемые реализацией строительства и развития комплекса, следующие:

- создание новых 5,8 тыс. рабочих мест;
- обеспечение собственными ресурсами сырья производства изделий из полимерных материалов, увеличение объемов их выпуска и расширение ассортимента путем повышения эффективности использования ресурсов нефтяного сырья в направлении создания продукции с высокой добавленной стоимостью;
- повышение конкурентоспособности полимерной продукции на внешнем и внутреннем рынках, обеспечение изделиями производственно-технического и потребительского назначения потребности региона и близлежащих областей, сокращение объемов импорта;
- развитие и укрепление нефтехимического кластера региона;
- повышение вклада продукции полимерного комплекса области в реализацию приоритетных национальных проектов;
- решение ряда экологических проблем благодаря увеличению объемов потребления полимеров, что приведет к сокращению потребления традиционных материалов (например, древесины) и лакокрасочных продуктов;
- внедрения экологически чистых и ресурсосберегающих технологий;
- внедрения современных стандартов качества производимой продукции на предприятиях; улучшение социально-экономических условий работников и повышение качества жизни населения области.



Рис. 3. Меры и условия, обеспечивающие устойчивое развитие полимерного комплекса

3. МЕРЫ РЕАЛИЗАЦИИ СТРАТЕГИИ РАЗВИТИЯ ПОЛИМЕРНОГО КОМПЛЕКСА В САМАРСКОЙ ОБЛАСТИ

Для эффективной реализации предложений, разработанных в Стратегии развития полимерного комплекса, необходимо внедрение комплекса мер в области ресурсного обеспечения — инвестиционно-инновационного, сырьевого и кадрового.

На основании стратегии развития полимерного комплекса предложены организационно-экономические меры и условия, обеспечивающие достижение целевых задач и прогнозных параметров развития, представленные на рис. 3. Реализация и обеспечение представленных мер и условий обеспечит устойчивое развитие полимерного комплекса данного региона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение кластерного подхода в управлении отдельным регионом и промышленным производством в современных условиях позволит повысить их эффективность и выступит гарантом устойчивого развития. Перспективные экономические кластеры (в данном случае, нефтехимический в Самарской области) должны формироваться при серьезной поддержке государства в тех регионах-локомотивах, где имеется значительный промышленный и научный потенциал.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. *Ялов Д.А*. Кластерный подход как технология управления региональным экономическим развитием // Компас промышленной реструктуризации. 2003. № 3. Режим доступа: http://www.compass-r.ru/magaz/3-2003/1-3-2003.htm.
- 2. Лозинский С., Праздничных А. Конкурентоспособность и отраслевые кластеры: новая повестка дня для российского бизнеса и власти // Мир Стройиндустрии. 2003. № Февраль.
- 3. *Портер М.Э.* Конкуренция. М.: Изд. дом «Вильямс», 2000. 495 с.
- 4. *Сахаров Ю.* Регион локомотив роста // Эксперт. 2007. № 21. —С. 108—109.

Статья представлена к публикации членом редколлегии Р.М. Нижегородцевым.

Ягудин Семен Юрьевич — д-р экон. наук, проф., зав. кафедрой, Московский государственный университет экономики, статистики и информатики (МЭСИ), e-mail: Syagudin@mail.ru,

Дубов Леонид Юрьевич — науч. сотрудник, Московская государственная академия тонкой химической технологии им. М.В. Ломоносова (МИТХТ), ☎(495) 332-04-19; e-mail: DubovLU@mail.ru.

УДК 517.977.5:629.7

АЛГОРИТМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ БАЗОВОГО ЗАКОНА УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ БОЛЬШОЙ КОСМИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ОГИБАЮЩЕЙ МОД УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ¹

А.В. Силаев

Рассмотрена проблема снижения уровня упругих колебаний в угловом движении большой космической конструкции. Для ее решения предложен алгоритм адаптации параметра базового закона управления ориентацией объекта. Алгоритм основан на получении оценки общей огибающей мод упругих колебаний и ее минимизации методом случайного поиска с обучением.

Ключевые слова: большая космическая конструкция, упругие колебания, огибающая, адаптивное управление.

ВВЕДЕНИЕ

При разработке систем управления ориентацией больших космических конструкций (БКК) необходимо учитывать возмущающее влияние упругих колебаний нежестких элементов конструкции (панелей солнечных батарей, антенн и др.) на угловое движение объектов. Эти упругие колебания описываются модами, общее число которых может быть достаточно большим. При определенных условиях возможен резонанс отдельной моды, т. е. ее амплитуда будет неограниченно возрастать, и при достижении ею некоторого критического значения произойдет захват регулятора упругими колебаниями и потеря устойчивости БКК.

В связи с этим алгоритмы управления ориентацией БКК, полученные для жесткого объекта, оказываются неработоспособными. Необходима разработка алгоритмов, позволяющих в условиях полета, во-первых, контролировать текущий уровень упругих колебаний и, во-вторых, снижать его до

допустимого значения, в идеальном случае минимизируя его. Первая задача была решена в работе [1], решению второй посвящена данная работа.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

В качестве математической модели углового движения БКК рассмотрим модально-физическую модель [2] как наиболее удобную форму описания упругих мод:

$$\ddot{x} = m(u),$$

$$\ddot{x} + \omega_i^2 \tilde{x}_i = k_i m(u), \quad i = \overline{1, n},$$

$$x = \overline{x} + \tilde{x}, \quad \tilde{x} = \sum_{i=1}^n \tilde{x}_i,$$
(1)

где \bar{x} — координата движения БКК как абсолютно жесткого тела; \tilde{x}_i — координата i-й моды упругих колебаний; ω_i и k_i — соответственно собственная циклическая частота и коэффициент возбудимости i-й моды; n — число учитываемых мод; m(u) — приведенный управляющий момент; $u = u(x, \dot{x}, \dot{x})$

 $^{^{1}}$ Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект № 08-08-00512).



t, λ) — базовый релейно-логический закон управления; x и \dot{x} — доступные измерению координаты объекта; \tilde{x} — дополнительная составляющая координаты x, обусловленная упругими колебаниями; λ — параметр базового закона управления, доступный адаптации.

Предполагается, что собственные частоты мод ω_i упорядочены по возрастанию. Отметим, что случай недемпфированных мод наиболее опасен в смысле влияния на устойчивость всей системы управления ориентацией БКК в целом, именно поэтому он и рассматривается в данной работе.

Рассматривается базовый релейно-логический алгоритм управления, наиболее распространенный в практике угловой стабилизации БКК с большим сроком существования. Применение подобных алгоритмов, как правило, вызывает автоколебания, которые не должны нарушать требуемую динамику процессов управления в замкнутой системе, что достигается выбором соответствующего алгоритма. Обычно эти алгоритмы формируются в виде релейной функции, содержащей зону нечувствительности ε и гистерезис γ, существенно влияющие на динамические характеристики системы управления ориентацией.

Рассмотрим один из возможных алгоритмов [3], на основе релейно-логической функции u(x, t) с использованием только одной измеряемой координаты x. Если пренебречь упругими колебаниями (т. е. при $\tilde{x} \approx 0, x \approx \bar{x}$), то в окрестности координат, достаточно близко примыкающей к области существования предельного цикла, этот алгоритм может быть описан следующим образом:

$$u(x, t) = \begin{cases} +u_{\varepsilon}\forall |x| < \varepsilon \lor t < t_{0}; \\ -u_{u}\forall x \ge \varepsilon \lor t \in [t_{0}, t_{1}], x(t_{1}) = \varepsilon - \gamma, t_{1} - t_{0} = \tau_{1}; \\ +u_{u}\forall x \le \varepsilon - \gamma \land t \in [t_{1}, t_{2}], t_{2} - t_{1} = \tau_{2} = k_{t}\tau_{1}, k_{t} < 1; \\ +u_{\varepsilon}\forall |x| < \varepsilon - \gamma \lor t \ge t_{2}. \end{cases}$$

Сигналы (напряжения) $+u_u$, $-u_u$, $+u_\varepsilon$ используются для включения исполнительного органа, создающего управляющие воздействия $+m_u$, $-m_u$, $+m_\varepsilon$ соответственно. Для пояснения работы алгоритма на рис. 1 представлена фазовая плоскость, отображающая автоколебания, вызываемые данным алгоритмом при некоторых значениях его параметров. Пусть «0» — начальная точка, соответствующая моменту t_0 начала функционирования системы стабилизации. Для определенности $x(t_0) > \varepsilon$. В соответствии с данным алгоритмом к объекту прикладывается воздействие $-m_u$, уменьшающее начальное отклонение. В некоторый момент $t = t_1$

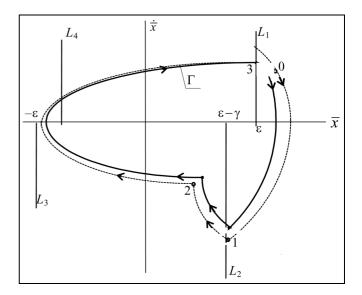


Рис. 1. Движение системы на фазовой плоскости в окрестности предельного цикла без учета упругих колебаний

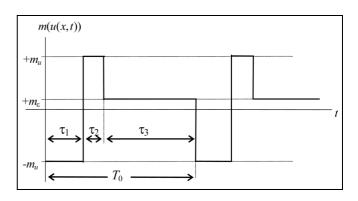


Рис. 2. Приведенный управляющий момент в режиме автоколебаний

изображающая точка попадет на линию переключения $L_2(x(t_1) = \varepsilon - \gamma)$. Время движения по траектории «0 — 1», равное $\tau_1 = t_1 - t_0$, измеряется и запоминается. По сигналу датчика угла $x(t_1) = \varepsilon - \gamma$ управляющее воздействие, приложенное к объекту, меняет знак на противоположный $(+m_{ij})$, под влиянием которого осуществляется торможение объекта в течение расчетного времени $\tau_2 = k_t \tau_1$, $0 \le k_{t} \le 1$. Далее под влиянием «слабого» управления $+m_{\rm c}$ по траектории пассивного движения «2—3» внутри зоны нечувствительности система возвращается на исходную правую границу зоны нечувствительности в точке $3 (x(t_3) \in L_1)$, выходя в конечном счете на траекторию предельного цикла Г. Функционирование регулятора в режиме автоколебаний (Г), представленное периодической последовательностью импульсов управляющего воздействия, отображено на рис. 2. Вид автоколе-



баний, установившихся в системе, зависит от соотношения значений m_u , m_ε и k_t . Автоколебания, представленные на рис. 1 и 2, соответствуют случаю минимального расхода энергии и являются односторонними, т. е. фазовая траектория движения системы никогда не пересекает левую границу зоны нечувствительности, на которой $x(t) = -\varepsilon$.

Параметры автоколебаний τ_1 , τ_2 и τ_3 , как и общий период цикла $T_0 = \tau_1 + \tau_2 + \tau_3$, определяются параметрами базового алгоритма ε , γ , k_r , m_u и m_ε по известным соотношениям [3]. При учете упругих колебаний БКК \tilde{x} фазовый портрет движения системы искажается. При малых начальных значениях фазовых координат мод $\tilde{x}_i(0)$, $\dot{\tilde{x}}_i(0)$ и их коэффициентов возбудимости k_r , $i=\overline{1,n}$ в фазовом портрете движения возникают небольшие отклонения от предельного цикла движения БКК как жесткого тела (рис. 3). С ростом начальных значений и коэффициентов возбудимости мод фазовый портрет все более «размывается», и предельный цикл пропадает.

Рассмотрим базовый алгоритм более общего вида

$$u(x, t) = \begin{cases} +u_{\varepsilon} \forall |x| < \varepsilon \lor t < t_{0}; \\ -u_{u} \forall x \ge \varepsilon \lor t \in [t_{0}, t_{1}], x(t_{1}) = \varepsilon - \gamma, t_{1} - t_{0} = \tau_{1}; \\ +u_{u} \forall x \le \varepsilon - \gamma \land t \in [t_{1}, t_{2}], t_{2} - t_{1} = \tau_{2} = k_{t}\tau_{1}; \\ +u_{\varepsilon} \forall x \in [-\varepsilon, \varepsilon - \gamma) \land \dot{x} < 0 \lor t \in (t_{2}, t_{3}], x(t_{3}) = -\varepsilon; \\ +u_{u} \forall x < -\varepsilon \lor x \in [-\varepsilon, -\varepsilon + \gamma) \land \dot{x} > 0 \lor t \in [t_{3}, t_{4}), \\ x(t_{4}) = -\varepsilon + \gamma, t_{4} - t_{3} = \tau_{3}; \\ -u_{u} \forall x \ge -\varepsilon + \gamma \land t \in [t_{4}, t_{5}], t_{5} - t_{4} = \tau_{4} = k_{t}\tau_{3}; \\ -u_{\varepsilon} \forall x < \varepsilon \land t > t_{5}. \end{cases}$$

$$(2)$$

В алгоритме (2) параметр k_t доступен целенаправленному изменению в определенных пределах. Если пренебречь упругими колебаниями, то данный алгоритм при определенных значениях $u_{\scriptscriptstyle \mu},\ u_{\scriptscriptstyle E}$ и k_t приводит к двухсторонним автоколебаниям, характеризующимися пересечением левой границы зоны нечувствительности в момент времени $t_3(x(t_3) = -\varepsilon)$. При этом к объекту прикладывается управляющее воздействие $+m_u$, действующее до момента времени t_4 , при котором $x(t_4) = -\varepsilon + \gamma$. Длительность отрезка времени $t_3 = t_4 - t_3$ запоминается, управляющее воздействие меняет знак, становится равным $-m_u$ и действует в течение времени $\tau_4 = k_t \tau_3$ до момента t_5 . После этого воздействие принимает значение $-m_{\varepsilon}$ до пересечения изображающей точкой линии переключения L_1 . Возможны и другие версии приведенного алгоритма.

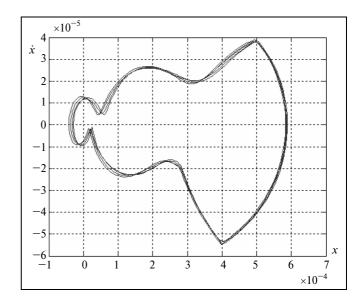


Рис. 3. Движение системы на фазовой плоскости при малых начальных значениях координат мод и коэффициентов возбудимости

В данной работе в качестве базового алгоритма будем рассматривать алгоритм (2).

Для учета влияния упругих колебаний на динамику движения замкнутой системы необходимо знать не сами мгновенные значения координат мод $\tilde{x}_i(t)$, а их амплитуды, которые изменяются во времени в зависимости от управляющего воздействия m(u). Поэтому будем характеризовать моды их огибающими $a_i(t)$, $i=\overline{1,n}$, а дополнительное движение $\tilde{x}(t)$, обусловленное упругими колебаниями, — общей огибающей a(t). Существуют различные методы получения этих огибающих. В работе [1] предложены два метода получения огибающих упругих мод: тригонометрический (при релейно-логическом управлении) и метод динамического оценивания (при более общем виде

В соответствии с методом динамического оценивания огибающая a_i *i*-й моды определяется следующим образом:

управления). Остановимся на втором из них.

$$\dot{\tilde{A}}_{i} = -(k_{i}/\omega_{i})m(u)\sin\omega_{i}t,$$

$$\dot{\tilde{B}}_{i} = -(k_{i}/\omega_{i})m(u)\cos\omega_{i}t,$$
(3)

$$a_i = \sqrt{\tilde{A}_i^2 + \tilde{B}_i^2}, \quad i = \overline{1, n}, \tag{4}$$

при начальных условиях $\tilde{A}_i(0) = \tilde{x}_i(0)$, $\tilde{B}_i(0) = -\dot{\tilde{x}}_i(0)/\omega_i$, где начальные значения мод $\tilde{x}_i(0)$ и $\dot{\tilde{x}}_i(0)$ предполагаются заданными (например, оцениваются с помощью наблюдателя состояния).



Движение $\tilde{x}_i(t)$ ограничено областью $[-a_i(t), a_i(t)]$. Общая огибающая n учитываемых мод определяется суммой огибающих отдельных мод $a(t) = \sum_{i=1}^{n} a_i(t)$. Движение БКК с учетом упругих

колебаний всегда будет находиться в области $[\bar{x}(t) - a(t), \bar{x}(t) + a(t)].$

При определенных условиях, налагаемых на спектр сигнала управления и упругих мод, возможен неограниченный рост огибающей a(t) по сравнению со значением координаты $\bar{x}(t)$.

Необходимо разработать алгоритм адаптации параметра k_t базового закона управления (2) в зависимости от имеющейся информации (от частот упругих мод, коэффициентов возбудимости и начальных условий, управляющего воздействия m(u) в виде функции времени, угловой координаты x объекта и угловой скорости \dot{x}), позволяющий существенно снизить общую огибающую упругих колебаний, не допустив ее неустойчивости.

2. АЛГОРИТМ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ

Для разработки алгоритма параметрической адаптации необходимо сначала оценить зависимость общей огибающей упругих мод а от коэффициента k_{t} , доступного адаптации. Результаты цифрового моделирования движения конкретного объекта, о котором речь будет идти в дальнейшем, при законе управления (2) показали, что общую огибающую a(t) можно приближенно считать почти периодической функцией. Поскольку влияние параметра k_t на значение a(t) проявляется не мгновенно, а с определенной динамикой, зависимость общей огибающей от k_{t} следует оценивать не по мгновенному значению a(t), а по осредненному на отрезке времени длительностью, значительно превышающей период функции a(t), как это было предложено в работе [4] для выявления неустойчивой моды.

Таким образом, для оценки характера зависимости общей огибающей упругих мод от параметра адаптации k_t необходимо при одних и тех же начальных условиях мод вычислять среднее значение

общей огибающей
$$\bar{a}=rac{1}{T}\int\limits_{t_0}^{t_0+T}a(t)dt$$
 на отрезке вре-

мени $[t_0, t_0 + T]$ при различных значениях k_t в заданном диапазоне. Полученная в результате зависимость для конкретного объекта, значения параметров которого приведены далее (см. § 3 данной работы), представлена на рис. 4. Видно, что зави-

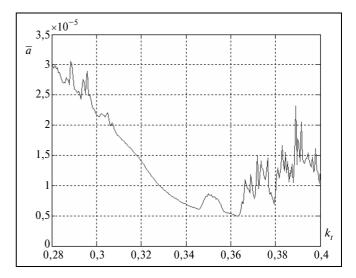


Рис. 4. Зависимость среднего значения общей огибающей мод от параметра адаптации

симость $\bar{a}(k_t)$ имеет локальные минимумы. Задача сводится к адаптивной настройке параметра k_t к своему значению, при котором обеспечивался бы локальный (или, в наилучшем случае, глобальный) минимум функции \bar{a} . Эта задача нелинейного программирования вследствие явно нелинейного характера зависимости $\bar{a}(k_t)$.

Описать аналитически данную зависимость не представляется возможным, поскольку \overline{a} зависит, кроме параметра k_t , от многих других факторов: начальных значений мод, их собственных частот и коэффициентов возбудимости и ряда других. Поэтому для решения этой задачи применим поисковый алгоритм адаптации, основанный на методе случайного поиска с обучением [5].

Предлагаемый алгоритм работает в реальном времени параллельно с базовым алгоритмом управления (2) и заключается в следующем.

- 1. На начальном шаге ($t_0=0,\,k=0$) задается начальное значение параметра $k_t=k_t^{(0)}$.
- 2. Моделируется общая огибающая мод a(t) по уравнениям (3) и (4), вычисляется среднее значение общей огибающей $\bar{a}^{(0)} = \bar{a} (k_t^{(0)})$ в момент времени t = T, выбирается случайное вещественное число $r^{(0)}$, равномерно распределенное на отрезке [-1, 1].
- 3. Переход к новому шагу k=k+1, устанавливается новое значение параметра $k_t^{(k)}=k_t^{(k-1)}+$ + $r^{(k-1)}\Delta k_t$, где Δk_t заданное малое приращение параметра.



- 4. Моделируется общая огибающая мод по уравнениям (3) и (4), запоминается предыдущее значение $\bar{a}^{(k-1)}$ в момент времени t=(k+1)T, вычисляется новое значение $\bar{a}^{(k)}$ и его относительное изменение $\delta=|(\bar{a}^{(k)}-\bar{a}^{(k-1)})/\bar{a}^{(k)}|$.
- 5. До момента времени t = (k + 1)T, меньшего некоторого заданного значения T_{\min} , при выборе следующего случайного числа $r^{(k)}$ используется опыт, полученный на предыдущем шаге: если $\bar{a}^{(k)} < \bar{a}^{(k-1)}$, то направление поиска значений параметра k_{t} на предыдущем шаге было выбрано верно, и его необходимо сохранить прежним на текущем шаге, поэтому выбирается новое случайное число $r^{(k)}$ одного знака с предыдущим числом $r^{(k-1)}$, в противном случае $r^{(k)}$ выбирается противоположного знака по отношению к $r^{(k-1)}$. Для исключения случайного однократного изменения знака $\Delta \overline{a}^{(k)} = \overline{a}^{(k)} - \overline{a}^{(k-1)}$ с минуса на плюс при условии, что на протяжении нескольких (например, четырех) тактов подряд значение $\bar{a}^{(k)}$ уменьшалось, это изменение знака игнорируется, и знак $r^{(k)}$ изменяется лишь при повторном росте $\bar{a}^{(k)}$. Далее переход к п. 3.
- 6. В случае $t \ge T_{\min}$ проверяется условие окончания процесса адаптации: если $\delta < \delta_0$, где $\delta_0 3$ аданное малое положительное число, в течение нескольких (например, шести) тактов подряд (что свидетельствует о приближении к локальному минимуму \bar{a}), то фиксируется последнее значение параметра k_r , в противном случае переход к п. 3. •

Необходимость фиксации k_t в конце работы алгоритма объясняется тем, что в противном случае при приближении к значению k_t соответствующему локальному минимуму \bar{a} , начинается чередование знака случайного числа $r^{(k)}$ вследствие существенных колебаний значений \bar{a} около своего минимального значения (см. § 3).

Значения T_{\min} и δ_0 выбираются экспериментальным путем.

3. ИЛЛЮСТРИРУЮЩИЙ ПРИМЕР

Рассмотрим с помощью цифрового моделирования работу алгоритма для системы управления ориентацией БКК, математическая модель которой имеет вид (1) при следующих значениях исходных данных: $\omega_1 = 0.44 \text{ c}^{-1}$, $\omega_2 = 0.755 \text{ c}^{-1}$, $k_1 = 0.0213$, $k_2 = 0.0216$ и базовом алгоритме (2) при $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-4}$,

$$\begin{split} \gamma &= 10^{-4}, \ m_u = 4 \cdot 10^{-5}, \ m_\varepsilon = 10^{-6} \ \text{и начальных ус-} \\ \text{ловиях } \tilde{x}_1(0) &= 2{,}75 \cdot 10^{-6}, \ \dot{\tilde{x}}_1(0) = \tilde{x}_2(0) = \dot{\tilde{x}}_2(0) = 0, \\ \bar{x}(0) &= 4{,}5 \cdot 10^{-4}, \ \dot{\tilde{x}}(0) = 2{,}2 \cdot 10^{-5}. \end{split}$$

Отметим, что учет только двух низкочастотных мод (n = 2) не является принципиальным ограничением, а принят с целью сокращения времени моделирования, поскольку из-за длительного времени функционирования объекта его моделирование тоже должно проводиться на большом отрезке времени (более 20 000 с). Это ведет к необходимости выбора малого шага интегрирования дифференциальных уравнений мод (1), причем с ростом частоты моды этот шаг должен уменьшаться соответствующим образом, чтобы избежать накопления недопустимого значения погрешности при численном интегрировании уравнений мод. Работоспособность алгоритма оценки общей огибающей объекта с пятью модами (в том числе тремя высокочастотными) была продемонстрирована в работе [1], там же была оценена адекватность полученной огибающей исходной точной модели движения. В связи с этим введение новых высокочастотных мод, имеющих, как правило, существенно меньшие значения амплитуд и коэффициентов возбудимости, не должно привести к нарушению работы алгоритма, но значительно (на несколько порядков) увеличит время цифрового моделирования на том же отрезке времени.

Значение параметра адаптации k_t может изменяться в диапазоне от 0,28 до 0,4. Пусть начальное значение k_t равно 0,31. Работоспособность алгоритма существенно зависит от выбора начального значения k_t : в диапазоне варьируемых значений параметра k_t функция $\bar{a}(k_t)$ должна изменяться относительно медленно и иметь малое число локальных минимумов. В соответствии с этим правилом по рис. 4 можно установить, что при заданных начальных условиях мод допустимые значения $k_{\scriptscriptstyle t}$ в смысле работоспособности предложенного алгоритма лежат в диапазоне от 0,3 до 0,363. Этим и обусловлен выбор начального значения k_{r} . При изменении начальных условий мод в определенных пределах (до четырех-пяти раз в сторону увеличения и до нуля в сторону уменьшения) характер зависимости $\bar{a}(k_i)$ качественно не изменяется, и всегда присутствует участок медленного изменения а с несколькими локальными минимумами. Количест-

Рис. 5 характеризует работу замкнутой системы без адаптации параметра k_t . Задача оптимизации расхода энергии здесь не ставилась, поэтому при заданном соотношении величин m_u , $m_{\rm E}$ и k_t в сис-

венные значения этих минимумов изменяются.



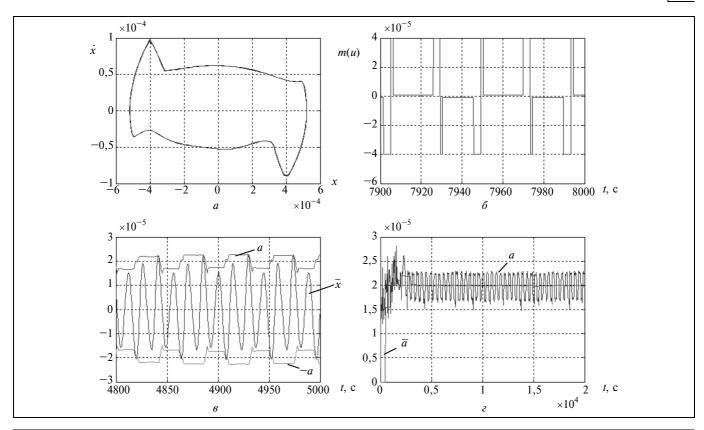


Рис. 5. Работа системы без параметрической адаптации:

a — движение системы на фазовой плоскости; δ — приведенный управляющий момент; ϵ — координата \tilde{x} упругих колебаний и общая огибающая a на малом отрезке времени; ϵ — общая огибающая упругих колебаний и ее среднее значение \bar{a}

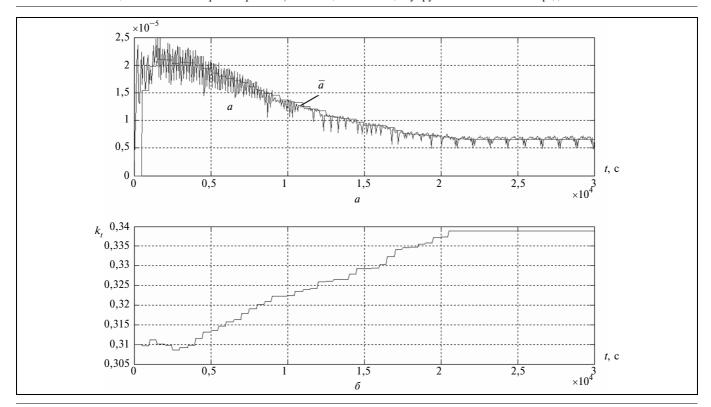


Рис. 6. Работа системы с адаптацией параметра k_t

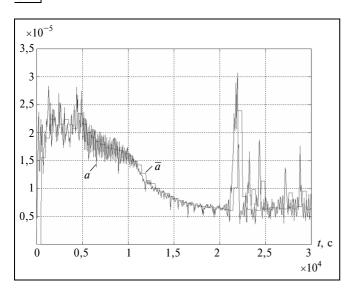


Рис. 7. Работа системы при отсутствии в алгоритме адаптации фиксации значения параметра k_t

теме устанавливаются двухсторонние автоколебания (рис. 5, a и δ). Из рис. 5, e видно, что a(t) на участке установившихся колебаний можно считать периодической функцией с периодом около 45 с, поэтому длительность T интервала осреднения a(t) выберем значительно большей, например, равной 500 с. Из рис. 5, e видно, что устанавливаются колебания общей огибающей a(t) около своего среднего значения $\overline{a} = 2 \cdot 10^{-5}$. При этом шаги интегрирования для каждой моды были выбраны различными: для первой $5 \cdot 10^{-4}$ с, для второй 10^{-4} с. Обеспечивается хорошая точность совпадения огибающей a(t) с дополнительной координатой $\tilde{x}(t)$ упругих колебаний.

Теперь применим предложенный алгоритм параметрической адаптации с фиксацией значения k_t , если в течение шести тактов относительное изменение \bar{a} не превышало величины $\delta_0=5$ %, причем минимальное время T_{\min} , после которого начинает действовать это правило, равно 10 000 с. Результаты работы алгоритма представлены на рис. 6. Из рис. 6, a и δ видно, что \bar{a} стабилизируется около значения $6,6\cdot 10^{-6}$ при фиксированном значении параметра k_t , равном 0,3389. Таким образом, установившееся значение \bar{a} снизилось в три раза.

Если не фиксировать параметр k_t при относительно малых изменениях \overline{a} , то процессы в системе будут иметь вид, представленный на рис. 7: начнутся колебания величин a, \overline{a} и k_t около значений, соответствующих локальному минимуму \overline{a} , причем амплитуда колебаний a и \overline{a} будет весьма существенной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен алгоритм параметрической адаптации базового закона управления угловой ориентацией БКК, основанный на методе случайного поиска с обучением в зависимости от результатов на предыдущем шаге (шагах). Критерием адаптации служит среднее значение огибающей упругих колебаний объекта. На конкретном примере продемонстрирована эффективность алгоритма, выражающаяся в существенном (троекратном) снижении значения данного критерия.

Применение конкретного базового алгоритма, учет только двух низкочастотных мод не снижают общности полученных результатов.

Применение предложенного метода ограничено условием относительно низкого уровня рассматриваемых мод по отношению к координате движения БКК как абсолютно жесткого тела. Оценка их допустимого соотношения осталась за рамками данной работы и может составить предмет дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

- Силаев А.В., Суханов В.М. Методы оценки огибающей упругих колебаний деформируемого космического аппарата // Автоматика и телемеханика. — 2002. — № 4. — С. 76—90.
- 2. *Рутковский В.Ю.*, *Суханов В.М.* Большие космические конструкции: модели, методы исследования и принципы управления // Там же. 1996. N 8. C. 55—66.
- Rutkovsky V.Yu., Sukhanov V.M., Dodds S.J. Nonexciting control by orientation of flexible space vehicles // Proc. 14th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace, Seoul. 1998.
- Силаев А.В. Синтез корректирующего закона управления деформируемым космическим аппаратом на основе оценки огибающих упругих мод // Авиакосмическое приборостроение. — 2006. — № 2. — С. 57—63.
- 5. Банди Б. Методы оптимизации. М.: Радио и связь, 1988.

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

Силаев Андрей Владимирович — канд. техн. наук, ст. науч. сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ☎(495) 334-87-79.

58

УДК 629.7.036.54-63

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ЗНЕРГЕТИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЖИДКОСТНЫХ РАКЕТ СРЕДСТВАМИ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ.

Ч. II. Бортовые системы управления расходованием топлива

А.Я. Андриенко, В.П. Иванов

Кратко описана реализация основных положений совершенствования энергетических характеристик жидкостных ракет в виде семейства систем управления расходованием топлива, и представлены их структурные схемы.

Ключевые слова: жидкостный ракетный двигатель, энергетические характеристики, система управления расходованием топлива.

ВВЕДЕНИЕ

Со времени зарождения ракетно-космической техники традиционные пути улучшения энергетических характеристик жидкостных ракет заключались, в основном, в оптимальном подборе компонентов топлива, совершенствовании двигателей и минимизации массы «сухой» конструкции ракеты при сохранении её необходимой прочности. Позднее выявилось и получило развитие другое направление [1] повышения энергетики ракеты — посредством создания специальных бортовых систем управления расходованием топлива, непосредственно не связанных с решением задач управления движением ракеты, но предназначенных для повышения эффективности использования располагаемых на борту ракеты запасов топлива.

В данной части статьи излагаются основные сведения о принципах действия и построения таких систем.

1. ПРИНЦИП ПОРОГОВО-ДИСКРЕТНОГО ИЗМЕРЕНИЯ В ЗАДАЧАХ УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОВАНИЕМ ТОПЛИВА

Для процессов управления расходованием топлива ракетного комплекса характерно изменение контролируемых координат в широком диапазоне. Соответственно и датчики, применяемые в системах управления расходованием топлива (СУРТ),

должны быть широкодиапазонными, т. е. позволять, например, измерять количество топлива по всей высоте бака ракеты, скорость ракеты от долей метра до нескольких километров в секунду и пр.

При построении таких датчиков необходимо в общем случае принимать весьма сложные меры для повышения стабильности их характеристик и снижения погрешностей измерения во всём диапазоне возможных значений измеряемых координат, что приводит к снижению эксплуатационно-технологических характеристик систем управления. Важнейший шаг в решении проблемы высокоточного управления расходованием топлива жидкостных ракет-носителей был сделан в 1950-х гг., когда в основу действия бортовых уровнемеров был положен порогово-дискретный принцип измерения [2], заключающийся в том, что в качестве исходной информации о состоянии объекта используются моменты времени достижения координатами объекта наперёд заданных, пороговых, значений. Управление формируется на основе этой информации, что позволяет использовать в системе узкодиапазонные (в пределе — релейные) датчики.

Пороговые значения координат могут подбираться таким образом, чтобы при невозмущённом (программном) ходе управления сигналы от соответствующих датчиков поступали одновременно, синхронно. В реальном процессе управления они поступают неодновременно, и их несинхронность



при определённых условиях однозначно характеризует отклонение процесса управления от программного. Поэтому при компенсации указанных несинхронностей посредством соответствующих управляющих воздействий возмущённый процесс управления приближается к невозмущённому.

Например, в ряде СУРТ применяются дискретные уровнемеры, представляющие собой набор чувствительных элементов (ЧЭ), сигнализирующих о прохождении зеркалом жидкого компонента в баке наперёд заданных уровней. Наборы таких релейных ЧЭ дают возможность снизить погрешности измерения и, следовательно, повысить качество управления.

Данный принцип допускает и некоторые модификации, в частности: в дискретный момент времени *і* поступления сигнала от релейного ЧЭ одной координаты (например, от ЧЭ дискретного уровнемера) измеряется другая координата (например, скорость ракеты), она сравнивается с программным значением, соответствующим *і*-му моменту, и формируется информация об отклонении процесса управления от программного.

2. ПРИНЦИПЫ ДЕЙСТВИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДОВАНИЕМ ТОПЛИВА

Системы управления будем различать по:

- используемой информации (применяемым датчикам текущей информации о состоянии объекта управления);
 - непосредственной цели управления;
 - применяемым исполнительным органам.

Принципы действия СУРТ будем пояснять на структурных схемах (рис. 1—9), включающих в себя весьма упрощенные изображения ракетных блоков — пары баков и ЖРД с исполнительными органами СУРТ, к которым относятся:

- дроссель Д, установленный в одной из основных магистралей ЖРД после турбонасосного агрегата *ТНА*; путем изменения гидросопротивления дросселя изменяется соотношение текущих расходов компонентов топлива;
- винт B редуктора, управляющего расходом компонента топлива, подаваемого в газогенератор $\Gamma\Gamma$, который вырабатывает рабочее тело для приведения во вращение турбины турбонасосного агрегата; с помощью винта B изменяется суммарный расход топлива (тяга) ЖРД;
- отсечные клапаны K, перекрывающие подачу топлива в газогенератор; посредством этих клапанов производится останов двигателя.

Понятно, что в данных схемах не отражены многочисленные особенности, присущие конкретным ЖРД в части систем подачи компонентов топлива, способов использования отработанного

генераторного газа, наличия разнообразных внутренних пневмогидравлических регуляторов и пр. Однако эти схемы, несмотря на их простоту, вполне достаточны для пояснения принципов работы систем СУРТ.

Далее ограничимся представлением только тех бортовых систем, которые хотя бы и бегло, но рассматривались в проектных проработках жидкостных ракет.

Система ОКТ. На рис. 1 (см. левый фрагмент) представлена структурная схема системы управления полной выработкой топлива на нижней ступени — системы выключения ЖРД по сигналу окончания компонента топлива (ОКТ). Она столь проста, что назвать её терминальной системой управления можно только с натяжкой.

Здесь в каждом из баков ракеты размещается только один ЧЭ (в баке горючего — ЧЭГ, окислителя — ЧЭО). От этих ЧЭ поступают сигналы в моменты времени $t_{_{\Gamma}}$ и $t_{_{\rm O}}$ о прохождении зеркалами жидких компонентов топлива фиксированных уровней, соответствующих возможно меньшему объёму оставшихся в баке компонентов. При задании этого объёма приходится иметь в виду, что характер движения жидкости вблизи днища бака и другие факторы в большинстве случаев не позволяют производить измерения с необходимой точностью близко от днища. Поэтому 49Γ и 490 устанавливаются в зонах, где измерения могут быть осуществлены достаточно точно, а сигналы t_{Γ} и t_{Ω} задерживаются (в блоках 3Γ и 3O) на определённые интервалы времени. Размеры этих интервалов задаются в предположении, что расход компонен-

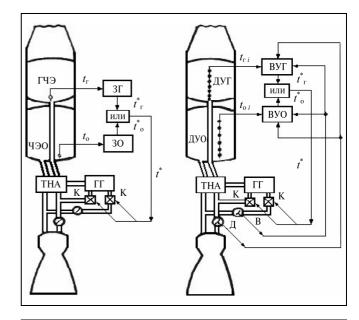


Рис. 1. Системы ОКТ и ПОКТ



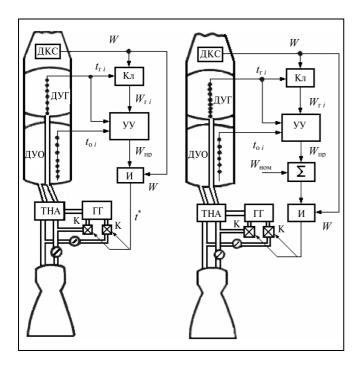


Рис. 2. Системы ПСОТ и ПОВТ

тов изменяется в конце процесса опорожнения в соответствии с номинальными условиями. Сигнал t^* на выключение ЖРД формируется в момент прохождения первого из выходных сигналов t^*_{Γ} и t^*_0 блоков 3Γ и 3O.

Система ПОКТ. Понятно, что система ОКТ в ряде случаев дает неудовлетворительную точность определения момента полной выработки топлива из-за больших отличий фактического расхода компонентов от принятого номинального. В этих случаях может применяться система управления выработкой топлива по результатам прогнозирования момента окончания компонентов топлива (ПОКТ). Исходная информация в системе ПОКТ (см. правый фрагмент рис. 1) получается от дискретных датчиков уровня окислителя и горючего, установленных по всей высоте баков. Кроме того, могут использоваться сигналы о положении исполнительных органов (дросселя \mathcal{I} и винта \mathcal{B}) других СУРТ. На основании этой информации, относящейся к наблюдаемому интервалу времени опорожнения баков, вычислительные устройства в канале горючего ВУГ и окислителя ВУО прогнозируют процесс расходования топлива на конечном (ненаблюдаемом) интервале и оценивают моменты t_{Γ}^* и t_0^* израсходования горючего и окислителя. В наименьшей из этих моментов производится выключение ЖРД.

Система ПСОТ. Точность выработки топлива системой ПОКТ существенно зависит от случайных отклонений расхода компонентов топлива на конечном участке относительно расхода на основном наблюдаемом участке работы ЖРД. А эти отклонения могут быть и большими, например, в ракетах, где отсутствует регулятор давления в камере сгорания ЖРД. Тогда для решения задачи полной выработки топлива целесообразно применять систему управления моментом времени выключения ЖРД по результатам прогнозирования скорости в момент окончания топлива (ПСОТ).

В основе принципа действия этой системы (см. рис. 2, левый фрагмент) лежит то обстоятельство, что приращение кажущейся скорости ракеты на участке безатмосферного полета определяется количеством израсходованного на этом участке топлива и фактическим значением удельной тяги ЖРД.

На вход управляющего устройства yy системы ПСОТ поступает та же информация, что в системе ПОКТ, плюс сигнал W_{ri} , характеризующий значение кажущейся скорости ракеты в момент прохождения измерительной точки уровнем горючего. В управляющем устройстве yy по анализу этой информации составляется оценка значения удельной тяги ЖРД. Затем в соответствии с номинальным количеством топлива, заключённого в баках под последней измерительной точкой, вычисляется то приращение скорости, которое получит ракета при полном сгорании этого количества топлива. В конечном итоге прогнозируется то значе-

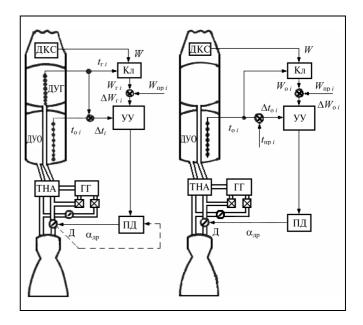


Рис. 3. Системы СУОБ и СУОБКИ



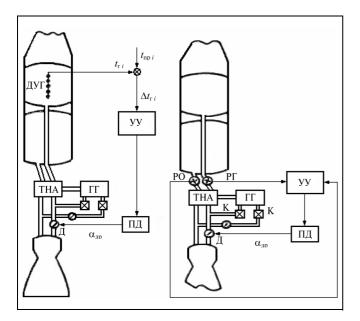


Рис. 4. Системы СОИЗТ и РСК

ние $W_{\rm пp}$ кажущейся скорости ракеты, которое она будет иметь в момент израсходования топлива. В тот момент, когда текущее значение скорости W сравняется с прогнозируемым $W_{\rm np}$, логический элемент W выдаёт сигнал на выключение ЖРД.

Система ПОВТ. Ещё большее повышение энергетических характеристик жидкостной ракеты достигается при так называемой оптимальной выработке топлива, реализуемой системой прогнозирования момента оптимальной выработки топлива (ПОВТ) (см. рис. 2, правый фрагмент). Выключение ЖРД на нижних ступенях ракеты здесь производится при достижении заданного значения функционала, но не традиционного, а сформированного по координатам как процесса управления движением ракеты, так и процесса управления расходованием топлива. В результате обеспечивается оптимизация распределения гарантийного запаса по ступеням ракеты.

В предельном случае при отсутствии ошибок измерения запасов топлива (и других погрешностей в работе СУРТ) оптимальная выработка вырождается в полную, а при увеличении ошибок (и погрешностей СУРТ) приближается к выключению ЖРД по традиционному функционалу управления дальностью полёта.

Система СУОБ. Показано, что в общем случае для минимизации гарантийных запасов топлива на ракетном блоке необходимо так управлять расходованием топлива, чтобы конечные случайные остатки компонентов топлива находились в определённом соотношении, отличном, вообще говоря,

от номинального соотношения масс рабочих запасов компонентов топлива. Это означает, что в процессе управления необходимо оценивать ожидаемые остатки топлива в каждом баке и приводить их в определённое соотношение к концу процесса опорожнения.

Система СУОБКИ. В отличие от СУОБ, в системе управления опорожнением баков по косвенной информации (СУОБКИ) используется информация, непосредственно связанная с опорожнением только одного из баков (см. рис. 3, правый фрагмент). Конечно, здесь суммарный (по окислителю и горючему) гарантийный запас на блоке должен быть заведомо больший, чем в СУОБ. Зато СУОБКИ оказывается возможным применять, когда измерения в одном из баков по каким-либо причинам нельзя произвести.

В тех случаях, когда на борту ракеты работает система регулирования кажущейся скорости, обеспечивающая выдерживание заданного значения кажущейся скорости к заданному конечному моменту времени, система управления расходованием топлива типа СУОБКИ может быть упрощенно построена только на основе уровнемерной информации (см. рис. 4). Такая система была названа системой оптимизации использования запасов топлива — СОИЗТ. (Уместно отметить, что при-

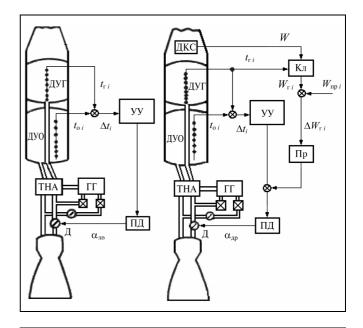


Рис. 5. Системы СОБ и СОБР



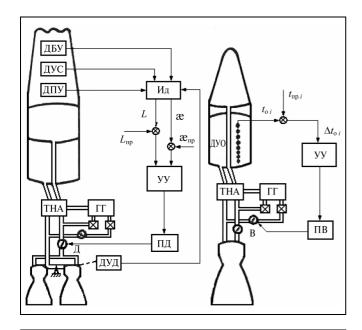


Рис. 6. Системы ИСО и СВО

водимые здесь названия систем принадлежат разным авторам и не могут служить основой классификации СУРТ.)

Система регулирования соотношения расходов компонентов топлива (РСК), структурная схема которой представлена на рис. 4 (правый фрагмент), — пример того, как терминальная задача решается регулятором нетерминального типа. Здесь с помощью расходомеров окислителя и горючего РО и РГ поддерживается заданное значение соотношения расходов компонентов топлива. Данный регулятор, конечно, не может парировать влияние на остаток топлива таких возмущений, как ошибки в заправке баков и др. И вообще, следует сказать, что оба варианта СУРТ, представленных на рис. 4, значительно проигрывают по эффективности применения исходной системе — СУОБ.

Система СОБ. В тех случаях, когда удается организовать высокоточные измерения количества топлива на борту ракеты (с погрешностью, например, не превышающей двух десятых процента от заправленного количества топлива), СУОБ может быть существенно упрощена, так как в этом случае оптимальное соотношение случайных остатков топлива близко к номинальному соотношению рабочих запасов компонентов топлива. Тогда задача управления расходованием сводится к синхронизации опорожнения баков окислителя и горючего, которая обеспечивается системой регулирования опорожнения баков (СОБ) на основе использования только информации от дискретных уровнемеров ДУО и ДУГ в баках окислителя и горючего (см. рис. 5, левый фрагмент).

Система СОБР. На практике бывают ситуации, когда номинальное соотношение масс рабочих запасов топлива принимается существенно отличным от того соотношения расходов компонентов, которое соответствует максимальной удельной тяге. Не будем здесь уточнять причин таких, на первый взгляд, аномальных ситуаций. Важно, что при этом возникает необходимость в программном изменении соотношения расходов в процессе опорожнения.

Оптимальную (по критерию минимума потерь конечной скорости ракеты) программу изменения соотношения расходов компонентов топлива найти несложно, но энергетическая эффективность её реализации в условиях существенно ограниченного диапазона допустимых отклонений оказывается весьма невысокой. Показано, что в этом случае целесообразно проводить, наряду с синхронизацией опорожнения баков, так называемое рандомизированное программирование соотношения мгновенных расходов компонентов топлива, что и делает программное устройство Πp , в котором хранится оптимальная программа изменения соотношения расходов (см. рис. 5, правый фрагмент) системы регулирования опорожнения баков с рандомизацией (СОБР) соотношения расходов (здесь Кл ключ, замыкающийся в момент t_{ri}).

Инерциальная система регулирования опорожнения (ИСО) баков — система «экзотическая» в том смысле, что позволяет синхронизировать опорожнение баков без каких-либо непосредственных измерений количеств топлива в баках.

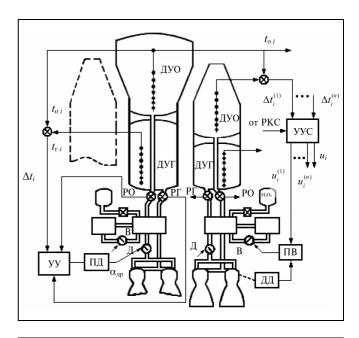


Рис. 7. Система СОБИС



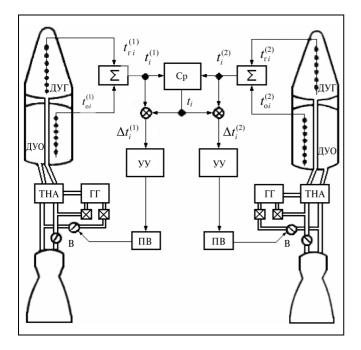


Рис. 8. Система МБС

Принцип действия ИСО основан на том, что возмущения, вызывающие неодновременность опорожнения баков, обусловливают в то же время изменение инерциальных характеристик ракеты (момента инерции, положения центра масс и др.). Некоторые из этих характеристик могут быть определены в результате измерения кинематических и динамических параметров ракеты.

Одна из возможных структурных схем ИСО представлена на рис. 6 (левый фрагмент). Здесь используются четыре датчика: ДУС — угловой скорости; ДБУ — боковых составляющих ускорения, $A\Pi Y$ — продольного ускорения и AYA — угловых положений двигателя. На основе информации, получаемой с этих датчиков, в идентификаторе Ид системы, оцениваются положения метацентра ракеты и удельной координаты центра масс, определяемой как отношение координаты центра масс (в связанной системе координат) к моменту инерции ракеты. В управляющем устройстве УУ в результате анализа изменения во времени этих координат оцениваются размеры возмущений, обусловливающих миграцию идентифицированных инерциальных характеристик, и перекладками дросселя ${\mathcal {I}}$ парируются те из них, которые вызывают неодновременность опорожнения баков.

Система СОБИС. Перейдём теперь к рассмотрению задач межблочного управления опорожнением баков применительно к многоблочной ступени ракеты, состоящей из связки параллельно работающих ракетных блоков. Один из них — цен-

тральный — несет (непосредственно или через последующие ступени) полезную нагрузку. Другие блоки — боковые — пристыкованы к центральному. На рис. 7 представлена структурная схема системы регулирования опорожнения баков и синхронизации ракетных блоков (СОБИС). Это, по-видимому, наиболее известная из СУРТ, поскольку она установлена на ракетах-носителях кораблей «Восток» и «Союз». Система решает задачи внутриблочного регулирования опорожнения баков с помощью расходомерных каналов РСК, перенастраиваемых по уровнемерной информации. Управляющее устройство синхронизации УСС синхронизирует опорожнение баков окислителя боковых блоков с баком центрального блока путем изменения с помощью винта B редуктора газогенератора II суммарных расходов в отдельных блоках. При отработке команд межблочной синхронизации используются сигналы датчиков давления ДД. Принимались меры, чтобы управление расходованием топлива по возможности не возмущало процесс управления полетом носителя.

Аналогичные задачи решают и системы CBO и MБC.

Система временного управления опорожнением баков (СВО) (см. рис. 6, правый фрагмент) на основании сопоставления моментов времени t_{oi} с их программными значениями t_{npi} меняет суммарный расход (с помощью привода $I\!I\!B$ винта $I\!B$) топлива в ракетном блоке так, чтобы обеспечить израсходованием окислителя в этом блоке к наперед заданному моменту времени выключения $I\!R$ РД. Тем самым достигается синхронизация опорожнения баков окислителя в многоблочной ступени ракеты.

Система управления межблочной синхронизацией (МБС) опорожнения баков, в отличие от СОБИС, осуществляет синхронизацию по информации об отклонении суммарного (окислителя и горючего) количества топлива в каждом блоке от среднеблочного его значения, вычисляемого в блоке *Ср* (см. рис. 8). Это позволяет повысить эффективность применения системы в условиях, когда существенно ограничивается диапазон изменения давления в камере сгорания.

Система МУР. Потребность в системе межблочного управления расходованием топлива (МУР) возникает в тех случаях, когда на боковых блоках многоблочной первой ступени ракеты реализуется полная выработка топлива, центральный блок работает в составе первой и второй ступеней, а система управления полётом не справляется с задачей приведения точки падения отработанных блоков в заданный район. Так бывает, если отклонения ориентации вектора скорости ракеты в мо-

64



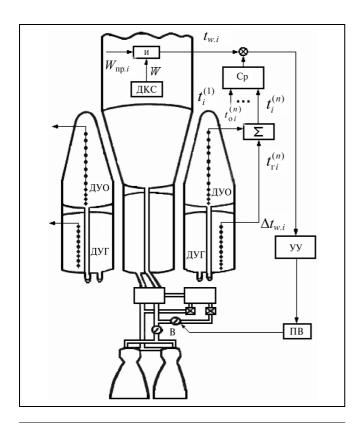


Рис. 9. Система МУР

мент выключения ЖРД слабо влияют на дальность полёта отделившейся отработанной части ракеты.

Система МУР (см. рис. 9) путем изменения соотношения тяг центрального и боковых блоков так управляет расходованием топлива, что боковые блоки полностью опорожняются к моменту набора заданного значения скорости ракеты. Влияние траекторных возмущений на конечное значение скорости первой ступени при этом компенсируется благодаря перерасходованию или недорасходованию части топлива центрального блока, выделенной для использования в режиме первой ступени.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение бортовых систем управления расходованием топлива приводит к повышению энергетических характеристик жидкостных ракет, по своей эффективности эквивалентному переходу к кислородно-водородному топливу на верхних ступенях ракет-носителей. Вместе с тем, эти системы относительно просты, дешевы и высоконадёжны, они стали неотъемлемой частью всех крупных отечественных жидкостных ракет [3], и позволили повысить грузоподъёмность ракет-носителей на 10—15 % и предельную дальность полёта жидкостных межбаллистических ракет на 15—20 %.

ЛИТЕРАТУРА

- 1. Андриенко А.Я., Иванов В.П. Совершенствование энергетических характеристик жидкостных ракет средствами автоматического управления. Ч. І. Физико-технические основы управления расходованием жидкого топлива ракет // Проблемы управления. 2009. № 1. С. 66—71.
- 2. *Проблема* измерения уровня топлива на борту жидкостных ракет / А.Я. Андриенко, С.В. Балакин, С.М. Ломтев, Ю.П. Портнов-Соколов // Датчики и системы. 2003. N 6. С. 46—57.
- 3. Андриенко А.Я., Иванов В.П., Портнов-Соколов Ю.П. Системы управления расходованием топлива жидкостных ракет. История создания и пути развития // Космонавтика и ракетостроение. 1999. Вып.15. С. 133—137.

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

Андриенко Анатолий Яковлевич — д-р техн. наук, зав. лабораторией, **2**(495) 334-88-71,

Иванов Владимир Петрович — д-р техн. наук, вед. науч. сотрудник, **☎**(495) 334-87-60,

Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, e-mail: vladguc@ipu.ru.



Управление и контроль реализации социально-экономических целевых программ / Под ред. В.В. Кульбы и С.С. Ковалевского. — М.: Книжный дом "ЛИБРОКОМ", 2009. — 400 с.

Авторский коллектив: д-ра техн. наук. В.В. Кульба, С.С. Ковалевский, В.А. Уткин, С.А. Краснова, С.А. Косяченко, кандидаты техн. наук А.Б. Шелков, Д.А. Кононов, И.В. Чернов, Ю.М. Гладков и М.А. Шелков, А.Б. Павлов

Рассмотрен комплекс проблем повышения эффективности программно-целевого управления социально-экономическими системами. Даны методологические основы формализованного описания сценариев поведения социально-экономических систем. В качестве средств моделирования взаимовлияний макроэкономических факторов на состояние систем рассматриваемого класса применяется аппарат знаковых орграфов. Приведены научно-методические рекомендации по совершенствованию механизмов контроля за реализацией социально-экономических целевых программ. Рассмотрены задачи повышения результативности экспертных проверок исполнителей целевых программ по критерию минимизации аудиторского риска. Выполнен анализ систем и принципов организации мониторинга реализации целевых программ. Рассмотрены методы и модели организации и принятия коллективных управленческих решений.

Для научных работников и специалистов в области планирования и управления социально-экономическими системами, а также студентов и аспирантов соответствующих специальностей.



АЛГОРИТМИЧЕСКОЕ И ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИКИ АТЕРОСКЛЕРОЗА

Р.А. Файзрахманов, А.В. Кычкин

Рассмотрены задачи извлечения диагностической информации и принятия решения о возможном атеросклеротическом поражении сосудов человека. Описана система обработки биомедицинских сигналов и расчета параметров упругих свойств сосудов на основе анализа формы пульсовой волны, позволяющая с помощью экспертной базы знаний сформировать диагноз состояния сердечно-сосудистой системы пациента.

Ключевые слова: медицинская диагностика, форма пульсовой волны, диагностика состояния сосудов человека, экспертная система.

ВВЕДЕНИЕ

Повышение эффективности диагностики состояния сердечно-сосудистой системы человека достигается путем применения информационных технологий и автоматизации медицинских исследований. Особое внимание уделяется вопросам повышения достоверности и оперативности исследований атеросклероза как наиболее распространенного заболевания кровеносных сосудов лиц трудоспособного возраста. В этих целях производится сбор, обработка и анализ данных с устройств регистрации параметров сосудов. Методы съема и преобразования сигналов с медицинских датчиков пульсовой волны (ПВ) достаточно развиты и широко освещены в литературе [1, 2]. Однако алгоритмы обработки сигналов формы ПВ и извлечения диагностических параметров, а также методы принятия решений о состоянии сосудов требуют дальнейшего развития и совершенства.

Проблема атеросклероза интенсивно изучается как в плане исследования причин его развития, так и в плане ранней диагностики. Методы диагностики, базирующиеся на ультразвуковой визуализации крупных сосудов, требуют стационарного оборудования, длительного времени обследования одного пациента и не позволяют изучать мелкие артериальные сосуды. Более популярны методы диагностики, реализуемые с помощью при-

боров регистрации параметров ПВ. На рынке отечественного оборудования известна приставка «Поли-Спектр-СРПВ» для регистрации и анализа скорости распространения ПВ. За рубежом производится система массового обследования сосудов Vasera VS-1000 фирмы «Fukuda Denshi» (Япония). Датчики в этих устройствах соединяются с блоком регистрации проводами, что приводит к некоторым трудностям, повышаются требования к правильной посадке пациента, пациент не может двигаться во время обследования. Регистрируется ПВ только у неподвижного человека, что не позволяет получить более полные характеристики сосудов.

Существующие методы оценки состояния артерий (ультразвуковая визуализация, рентгеноконтрастные методы и др.) не вполне удовлетворяют потребностям практической медицины при массовых исследованиях населения. В связи с этим возникает необходимость разработки системы, допускающей оперативную обработку и анализ формы колебаний сосудов (сфигмограмм) и позволяющей оценить развитие заболевания.

Для регистрации формы колебаний сосудов человека в движении целесообразно применение программно-аппаратного комплекса сбора данных, в состав которого входят беспроводные датчики регистрации смещения стенок сосудов во времени и устройство сбора данных с интерфейсом для подключения к персональному компьютеру.



При различной подвижности пациента меняется кровенаполнение сосудов и, следовательно, форма ПВ. С помощью беспроводных датчиков можно исследовать пациента в состоянии покоя, при ходьбе и выполнении различных упражнений, например, приседаний. При измерениях в состоянии покоя не допускается движение пациента, во всех остальных случаях необходимо дополнительно следить, чтобы чувствительный элемент, прикрепленный резиновой манжетой, не сдвигался с точки замера. С помощью беспроводных датчиков ПВ замер производится в течение 10 с, максимальное расстояние беспроводной передачи данных на ПК составляет 10 м.

При регистрации ПВ в режиме реального времени с помощью цифровых беспроводных датчиков возникает ряд трудностей. Прежде всего, для мониторинга пульса во многих точках необходимо качественное преобразование аналоговых сигналов с чувствительных элементов - пьезоэлектрических пластин. Это достигается путем децентрализации процесса аналого-цифрового преобразования с помощью набора микроконтроллеров, расположенных в местах регистрации ПВ. Далее, из-за ограниченной производительности локальных микроконтроллеров необходима дополнительная обработка данных на персональном компьютере в целях устранения помех и фильтрации паразитных гармоник. Эта задача решается с помощью процедур устранения дребезга, простого скользящего среднего (ПСС) и экспоненциального скользящего среднего (ЭСС) [3].

Информация об упруго-вязких свойствах артерий и клиническом состоянии пациентов концентрируется в экспертной базе знаний и используется для принятия решений о возможности атеро-

склеротического поражения сосудов. База знаний формируется на основе экспериментальных исследований, а также математической обработки данных, классификации и кластеризации обследуемых единиц.

1. ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА СИГНАЛА ПУЛЬСОВОЙ ВОЛНЫ

Алгоритм устранения дребезга корректирует заведомо неверные выходящие за границы показания, полученные в результате скачков опорного напряжения АЦП либо искажений при кодировании-декодировании цифрового сигнала при беспроводной передаче, либо резких смещений датчика во время замера. Его суть заключается в следующем: если интервал между двумя соседними значениями f_{m-1} и f_m значительно больше интервала между значениями f_{m-1} и f_{m+1} , то значение f_m должно корректироваться. Это записывается условием:

$$|f_{m-1} - f_m| > (|f_{m-1} - f_{m+1}| + a)b,$$

где f_{m-1} , f_m и f_{m+1} — смещения стенок сосуда, пропорциональные напряжению на выходе датчика пульсовой волны, m-1, m и m+1— отсчеты времени соседних измерений. Параметры a и b выбираются на основании оценки качества сигнала. На рис. 1 показан результат выполнения процедуры устранения дребезга. Во время замера искусственно подавались случайным образом единичные мгновенные импульсы, имитирующие смещение датчика с точки замера. На рис. 1, a показан сигнал, зашумленный дребезгом, на рис. 1, b— сигнал после выполнения процедуры устранения дребезга.

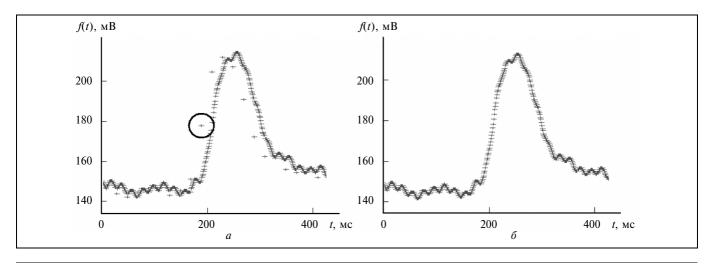


Рис. 1. Результат программной реализации процедуры устранения дребезга: a — сигнал с дребезгом; δ — сигнал после устранения дребезга



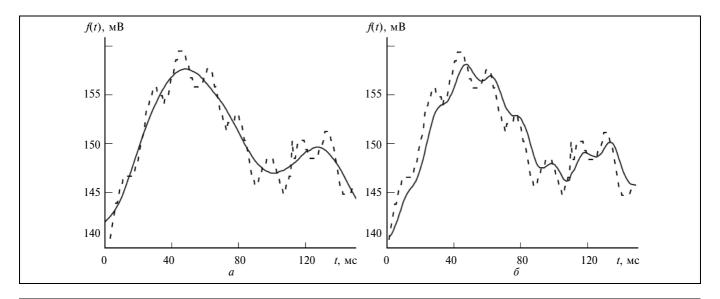


Рис. 2. Результат программы фильтрации: a — фильтр простого скользящего среднего (m = 20); δ — фильтр экспоненциального скользящего среднего (α = 0,15); сплошной линией показан результирующий сигнал, штриховой — первичный

Экспоненциальное скользящее среднее описывается выражением $\bar{f}_m = \alpha f_m + (\alpha - 1) f_{m-1}$, где \bar{f} — сглаженное значение смещения стенки сосуда, f_m и f_{m-1} — смежные значения смещений стенки сосуда до сглаживания, параметр α принимает значения от 0 до 1. Степень сглаживания низкая при $\alpha \approx 1$, высокая — при $\alpha \approx 0$.

Скользящее среднее в окне шириной m значений реализуется следующим образом:

$$\begin{split} \bar{f}_{\frac{m+1}{2}} &= \frac{f_1 + f_2 + \ldots + f_{\frac{m+1}{2}} + \ldots + f_{m-1} + f_m}{m} \,, \\ \\ \bar{f}_{\frac{m+1}{2}+1} &= \frac{f_2 + f_3 + \ldots + f_{\frac{m+1}{2}+1} + \ldots + f_m + f_{m+1}}{m} \,, \\ \\ \bar{f}_{\frac{m+1}{2}+2} &= \ldots \end{split}$$

Процедура фильтрации с помощью ЭСС осуществляется быстрее, чем с помощью ПСС, однако результат недостаточно корректен. Как показано на рис. 2, фильтр ЭСС сдвигает данные немного вправо, зато экстремумы не становятся плоскими, как с ПСС, что упрощает их поиск.

Эмпирическим путем установлено, что достигается качественное сглаживание и сохранение ярко выраженного экстремума, необходимого для построения среднего периода, при использовании фильтров ПСС и ЭСС последовательно. В этом случае необходимо учитывать ошибку смещения

сигнала, равную m/2 — половине ширины окна фильтра ЭСС.

2. РАСЧЕТ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Беспроводные датчики позволяют замерять ПВ в точках отчетливой пульсации сонной артерии, бедренных артерий ног, лучевых артерий рук, височных артерий, артерий предплечий, подколенных артерий, артерий стоп.

После цифровой фильтрации замеренного сигнала форма ПВ обрабатывается и рассчитываются параметры, характеризующие жесткость стенок сосудов и косвенно определяющие степень развития атеросклероза. К таким параметрам относят скорость распространения ПВ, которая определяется с помощью нескольких датчиков и рассчитывается между предплечьем и правой лодыжкой, между предплечьем и левой лодыжкой, на аорте и др. К диагностическим параметрам также относят индекс отражения и скорость нарастания прямой ПВ, характеризующие тонус (упругость) мелких мышечных артерий [4].

Параметры рассчитываются по усредненной форме ПВ, которая кодируется с частотой дискретизации 1 кГц в информационной системе массивом измерений, охватывающем около 10 с работы стенок сосуда. Для распознавания периода колебаний ПВ рассчитываются максимальные и минимальные значения, определяющие период ПВ, без учета локальных экстремумов, далее рассчитывается средняя длительность периода, подмассивы периодов колебаний калибруются и усредняются.



Распознавание интервалов в массиве измерений, соответствующих максимумам, осуществляется путем поиска локальных максимумов, сравнением соседних локальных максимумов и определением глобальных. После дифференцирования сигнала ПВ на участке глобального максимума определяется точное значение экстремума.

Поиск интервалов, соответствующих минимумам, производится путем определения первого нулевого значения интерполированной производной функции f_m' с шагом h на интервале между соседними максимумами N и N-1:

$$f'_m = \frac{f_{m-2} - f_{m-1} + f_{m+1} - f_{m+2}}{12h}.$$

Далее производится заполнение подмассивов измерений формы колебаний, заключенных между экстремумами, заполнение периодов, вычисление средней длительности периода, калибровка циклов и формирование среднего периода.

Скорость V распространения ПВ рассчитывается путем сравнения сигналов с двух датчиков, расположенных на расстоянии L друг от друга: $V = L/(t_{\rm 1max} - t_{\rm 2max})$, где $t_{\rm 1max}$, $t_{\rm 2max}$ — моменты времени, соответствующие максимумам ПВ двух сигналов. Следующие показатели рассчитываются по сигналу с одного датчика. Индекс отражения: отношение амплитуды прямой ПВ к амплитуде обратной. Скорость нарастания ПВ во время прохож-

дения пучка крови:
$$k=\frac{f_{\max}-f_{\min}}{t_{\max}-t_{\min}}$$
 , где f_{\max} и f_{\min} —

значения максимума и минимума ΠB за период, t_{\max} и t_{\min} — моменты времени, соответствующие этим экстремумам.

На реальные сигналы ПВ накладываются дополнительные требования в целях повышения точности предварительного анализа формы колебаний и возможности выделения периодических сигналов. Понятно, что сглаживание и дальнейшая обработка непериодических сигналов не приведет к достоверным результатам. Дополнительное требование для точного анализа формы колебаний состоит в наличии четких, неплоских экстремумов. При несоблюдении требований следует произвести повторные замеры.

В качестве вспомогательной выделяется функция быстрого преобразования Фурье [5] для построения спектрограммы сигнала, которая может использоваться при дополнительных исследованиях. В частности, гармоника с наибольшей амплитудой соответствует частоте сердцебиения.

Трудности анализа диагностических параметров обусловлены и тем, что характер поведения

объекта исследования сугубо индивидуален. Поэтому для принятия решений о возможных атеросклеротических поражениях сосудов целесообразно применение современных интеллектуальных технологий. В данной работе в качестве инструментального средства поддержки принятия решений при диагностике атеросклероза используется экспертная система с нечетким логическим выводом.

3. РАБОТА ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

На рис. 3 показана структура экспертной системы.

В работе экспертной системы (см. рис. 3) выделяется два основных режима.

Первый режим — заполнение базы знаний (БЗ). Данные о пациенте и зарегистрированные с помощью беспроводных датчиков ПВ в нескольких точках сигналы длительностью 10 с каждый сохраняются в базе данных (БД), а рассчитанные показатели $\varPi_{1\dots 11}$ сигналов ПВ (табл. 1) — в БЗ. Одновременно с этим, эксперт \mathcal{P} проводит исследование сосудов данного пациента известными методами, например с помощью ультразвуковой диагностики. Учитывая историю болезни пациента, эксперт формирует заключение о стадии развитии атеросклероза, которое заносится через интерфейс эксперта ИЭ в БД. Множество диагностических параметров $n_{1...N,\ 1...11}$, рассчитанных по данным исследований u_{1-N} , и сопоставляемые им экспертные заключения $\mathfrak{I}_{1...N}$ (табл. 2) формируют БЗ с помощью модуля приобретения знаний МПЗ [6].

После заполнения БЗ достаточным объемом исследований (второй режим) пользователь систе-

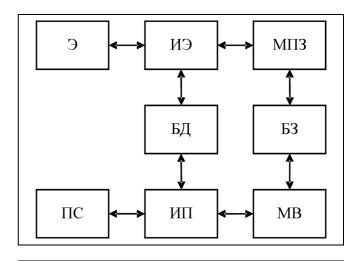


Рис. 3. Структура экспертной системы диагностики атеросклероза



Tаблица 1 Показатели измеряемых пульсовых сигналов

Показатель	Обозначение	
Показатель Скорость распространения ПВ: между предплечьем и правой лодыжкой между предплечьем и левой лодыжкой сонной артерии бедренной артерии на левой ноге бедренной артерии на правой ноге лучевой артерии на левой руке лучевой артерии на правой руке подколенной артерии на левой ноге подколенной артерии на правой ноге	П1 П2 П3 П4 П5 П6 П7 П8	
Индекс отражения Скорость нарастания прямой ПВ	П10 П11	

Tаблица $\,2\,$ Структура полей базы знаний

Номер	И	П1	П2	П3	 П11	Э
1 2	<i>u</i> ₁ <i>u</i> ₂	$n_{1,1} \\ n_{2,1}$	$n_{1,2} \\ n_{2,2}$	$n_{1,3} \\ n_{2,3}$	 $n_{1,11} \\ n_{2,11}$	э ₁ э ₂
 N	 u _N	 n _{N,1}	 n _{N,2}	 n _{N,3}	 n _{N,11}	\mathfrak{I}_N

мы *ПС* через интерфейс пользователя *ИП* обращается к БЗ. Диагностические параметры сосудов пациента соотносятся с каким-либо классом сосудов с известными экспертными заключениями, характеризующими стадию развития атеросклероза. Классификация параметров осуществляется на основе статистических методов обработки данных БЗ с помощью механизма вывода МВ [7]. В результате определяется уровень и стадия развития атеросклероза, более подходящие к введенным параметрам, формируется диагноз, который сохраняется в журнале пациента БД.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренная система дает возможность оперативного и мобильного диагностирования состояния сердечно-сосудистой системы пациента. К ее основным преимуществам относятся: обработка синхронно измеренных форм ПВ в произвольном числе точек на теле человека в реальном масштабе времени по информации, поступающий с модулей дистанционного сбора данных, отслеживание параметров состояния пациента как в статике, так и в динамике; прогнозирование изменений состояния здоровья пациента. Модульная архитектура программного обеспечения дает возможность расчетов различных параметров формы ПВ в различных встраиваемых процедурах.

ЛИТЕРАТУРА

- Mendelson Y., Burt D. Noninvasive Pulse Oximetry Utilizing Skin Reflectance Photoplethysmographhy // IEEE Biomedical Engineering. — 1988. — Vol. C-35, N 10. — P. 65—72.
- 2. Ливенцев Н. М., Ливенсон А.Р. Электромедицинская аппаратура. М.: Медицина, 1974. 336 с.
- 3. *Хемминг Р.В.* Цифровые фильтры. М.: Недра, 1987. 221 с
- Затейщикова А.А., Затейщиков Д.А. Эндотелиальная регуляция сосудистого тонуса: методы исследования и клиническое значение // Кардиология. 1998. № 9. С. 68—78.
- 5. *Михайлов Н.Ю., Толмачев Г.Н.* Высокочастотные колебания в сигнале пульсовой волны и их связь с адаптационными реакциями // Биофизика. 2008. Т. 53, вып. 3. С. 482—487.
- 6. *Попов Э.В.* Экспертные системы: Решение неформализованных задач в диалоге с ЭВМ. М.: Наука, 1987. 288 с.
- 7. *Тюрин Ю.Н., Макаров А.А.* Статистический анализ данных на компьютере. М.: Инфра-М, 1998. 528 с.

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.Н. Новосельцевым.

Файзрахманов Рустам Абубакирович — д-р экон. наук, проф., зав. кафедрой, e-mail: itas@pstu.ru,

Кычкин Алексей Владимирович — ассистент, e-mail: ak@itas.pstu.ru, alekseykychkin@rambler.ru,

Пермский государственный технический университет, $\mathbf{\Xi}(3422)$ 39-18-54.



Владислав Юльевич РУТКОВСКИЙ (к 80-летию со дня рождения)



20 апреля 2009 года исполняется 80 лет известному ученому в области теории и практики управления, лауреату двух Государственных премий СССР, Заслуженному деятелю науки РФ, академику Академии нелинейных наук, доктору технических наук, члену редколлегии журнала, профессору Владиславу Юльевичу Рутковскому.

В 1952 году В.Ю. Рутковский с отличием окончил Московский авиационный институт и был направлен на работу в Институт автоматики и телемеханики АН СССР (ныне Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН), где работает и сейчас, являясь заведующим лаборатории Института.

В.Ю. Рутковский возглавляет научную школу по адаптивному управлению движущимися объектами, основы которой были заложены им и его учителем и коллегой по совместным работам академиком Б.Н. Петровым. В 1983 году за плодотворную научную деятельность В.Ю. Рутковский был награжден Президиумом АН СССР Золотой медалью имени академика Б.Н. Петрова.

В.Ю. Рутковский является одним из основоположников и создателей принципов и теории беспоисковых адаптивных систем. По инициативе и под руководством В.Ю. Рутковского были выполнены приоритетные работы по созданию не имевших прототипов адаптивных систем для класса ракет. Результаты теоретических и практических работ в этой области внедрены в производство и

увенчались присуждением Государственной премии СССР.

Под руководством и при участии В.Ю. Рутковского разработаны оптимальные по расходу рабочего тела системы предварительного успокоения гравитационно-стабилизируемых спутников Земли, были получены фундаментальные результаты по разработке новых принципов построения и теории систем управления деформируемыми космическими аппаратами и большими космическими конструкциями. За теоретические достижения в области управления космическими объектами и практические результаты их внедрения В.Ю. Рутковскому была присуждена вторая Государственная премия СССР.

В.Ю. Рутковского многие знают не только по научным работам, но и лично в десятках городов нашей страны, в Великобритании, США, Германии, Италии, Турции, Франции, Польше, Болгарии, Македонии и в других странах.

Семь учеников В.Ю. Рутковского защитили докторские и восемнадцать — кандидатские диссертации. Многие ученики, ставшие коллегами, продолжают считать В.Ю. Рутковского своим учителем во всех отношениях: в беззаветной преданности науке, в любви и преданности своей Родине независимо от светлых или трудных периодов ее жизни, в любви и преданности своей семье, в доброй памяти о своих учителях и в продолжении дружбы с их семьями, в умении при всей своей занятости отыскать время для посещения театров, концертных залов и художественных выставок.

В.Ю. Рутковский полон творческих планов и энергии, а его девиз «все надо делать хорошо и быстро» — это девиз устремленного в будущее, молодого, энергичного человека.

Беззаветно преданный лучшим традициям Института проблем управления (ИАТа), Владислав Юльевич продолжает активно бороться за их сохранение и развитие и в сегодняшнее трудное время, отдавая накопленный опыт и знания новым организаторам науки об управлении.

Дорогой Владислав Юльевич! Поздравляем Вас с юбилеем и желаем здоровья на многие годы! Творческих Вам успехов!

Сотрудники Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН Редакционная коллегия Редакция



XVI МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ»

Конференция состоялась 16 декабря 2008 г. в Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. В ней приняли участие 227 авторов, представляющих 97 организаций, приславших 140 докладов из Москвы, различных регионов России (87 докладов), государств ближнего и дальнего зарубежья (48 и 26 докладов соответственно).

Работа конференции велась по следующим секциям, состав которых в последние годы стал традиционным.

- 1. Общетеоретические и методологические вопросы обеспечения безопасности.
- 2. Проблемы обеспечения экономической и социально-политической безопасности.
- 3. Проблемы обеспечения информационной безопасности.
 - 4. Экологическая и техногенная безопасность.
- 5. Методы моделирования и принятия решений при управлении безопасностью сложных систем.
- 6. Автоматизированные системы и средства обеспечения безопасности сложных систем.
- 7. Правовые вопросы обеспечения безопасности сложных систем.

В рамках представленных в первой секции работ большой интерес вызвали доклады, посвященные анализу и оценке возникающих глобальных рисков в условиях развивающегося мирового финансово-экономического кризиса. В докладе Г.Г. Малинецкого «Геополитические риски России в контексте мирового кризиса» на основе теории самоорганизации рассматривается совокупность предпосылок изменения магистральных направлений и тенденций развития мира. В работе подчеркивается, что в нынешних условиях важнейшим фактором, непосредственно влияющим на развитие цивилизации, является социально-экономическая неравномерность, приводящая к росту военно-политических рисков и международной нестабильности. Как следствие, в настоящее время тревожной тенденцией в развитии России выступает возрастающая вероятность её превращения в субъект или объект военного конфликта. В этих условиях резко возрастает роль антикризисного управления в Российской Федерации, обеспечивающего концентрацию усилий на ключевых направлениях стабильного и поступательного развития государства. Автор доклада справедливо отмечает, что только целенаправленная напряженная подготовка страны к кризисным явлениям различной природы позволит «смягчить» остроту многих будущих проблем.

Среди наиболее интересных работ в рассматриваемом направлении необходимо также выделить доклады А.Я. Андриенко «Перспективы обеспечения глобальной безопасности при прогнозируемом развитии высокоточного оружия»; Т.С. Ахромеевой, Г.Г. Малинецкого «Управление рисками развития нанотехнологической программы России»; В.В. Бунина, О.И. Денисовой «Гармонизация подсистем и внесистем государства как безопасный вариант национальной и глобальной идеи концепции России»; Н.И. Архиповой, О.Л. Седовой «Кадровые аспекты обеспечения безопасности систем государственного управления».

Ряд представленных на секции работ посвящен теоретическим и методологическим аспектам управления безопасностью, среди которых можно выделить следующие: П.Б. Баум, А.В. Баутин «Безопасность сложных систем с гетерогенной памятью»; В.А. Гадасин «Аксиоматика меняющихся (нечетких, открытых) мегасистем»; А.А. Пинчук «Исследование модели Лоренца»; Р.П. Агаев, С.В. Никифоров «О свойствах сетей с разреженными топологиями».

Работы, представленные на заседании **второй секции**, посвящены поиску путей решения теоретических и методологических проблем обеспечения экономической, финансовой и социальной безопасности.

Большой интерес вызвал доклад Н.И. Комкова, А.А. Лазарева, В.С. Романцова «Проблемы модернизации экономики РФ на инновационно-технологической основе». Для прямого и полного учета инновационно-технологического фактора в процессе моделирования и анализа экономического роста авторы предлагают применять сетевые модели и понятие комплексной технологии, где структурно объединены сама технология, техника и оборудование, кадры и система управления. Такое структурное представление принципиально позволяет установить ряд свойств и закономерностей при переходе от одной технологии к их взаимосвязанной сетевой структуре, которые в дальнейшем можно использовать при оценке основных параметров экономического роста. Отличие предложенной системы моделей от известных производс-



твенно-транспортных состоит прежде всего в целевой ориентации на оценку размера потерь и способов их снижения на основе модернизации технологий путем инноваций.

Среди наиболее интересных работ, посвященных проблемам обеспечения экономической безопасности, можно также выделить доклады А.А. Иванова «Функция полезности как инструмент оценки риска и страхования в системе управления экономической безопасностью»; Т.Б. Рыжковой «Экономическая безопасность как объект управления»; В.Ю. Никоновой, Д.Ю. Нечаева «Основные принципы обеспечения экономической безопасности социально-экономических систем»; И.В. Мосьякова «Обеспечение экономической безопасности деятельности медицинских организаций».

Комплексу проблем обеспечения безопасности финансовых механизмов и институтов посвящены доклады В.А. Сердюкова, Е.В. Сердюковой «К проблеме безопасности в сфере государственного и корпоративного долга»; М.В. Новикова «Рациональный выбор и анализ инвестиционного риска в системе обеспечения безопасности финансового рынка»; И.М. Поморцевой, И.А. Чернухиной «Рискменеджмент как система обеспечения безопасности предпринимательской деятельности»; Е.С. Васильева «Оценка риска инсайдерских угроз на предприятии».

Ряд докладов был посвящен проблемам обеспечения социальной безопасности. Данной тематике, в частности, посвящены работы В.В. Кафидова «Концепция социальной безопасности развития России»; С.С. Ковалевского, С.А. Красновой, В.А. Уткина «Комплексная модель мониторинга размеров выплат по страховым случаям с длительным сроком урегулирования в системе ФСС РФ»; В.Л. Мартынова, А.Б. Шелкова «Методы расчета резерва реализации катастрофических рисков в системе обязательного социального страхования»; К.В. Чернова «Об экономическом механизме управления безопасностью посредством стоимостного эквивалента виновной потери человеческой жизни»; Г.В. Гореловой, М.Д. Розина, С.Я. Сущего «Об исследовании проблем адаптации народов Юга России к трансформационным изменениям»; Д.А. Кононова, П.Е. Рощина «Сценарный анализ развития миграционных процессов методом базисных сценариев».

Работы, представленные на заседании **третьей секции**, можно с определенной степенью условности разделить на две группы: доклады, посвященные рассмотрению проблем информационного противоборства на межгосударственном и корпоративном уровнях, и работы, в которых основное внимание уделяется ставшим уже классическими проблемам обеспечения информацион-

ной безопасности автоматизированных систем управления различного уровня и назначения.

Одной из наиболее интересных и обсуждаемых работ стал доклад В.В. Цыганова, О.Ю. Завьялова «Информационная государственная корпорация и информационное противоборство». В докладе отмечается, что в настоящее время информационное воздействие становится эффективным и универсальным средством достижения внешнеполитических целей на государственном уровне. При этом отсутствие норм международного и национального права, дающих юридическую квалификацию особо опасных агрессивных акций информационно-психологического воздействия, позволяет использовать арсенал сил и средств информационной агрессии. В связи с этим перед Российской Федерацией остро встала проблема противодействия информационной агрессии со стороны геополитических конкурентов. Авторы справедливо подчеркивают, что в настоящее время сложившаяся ситуация требует от России решения задачи опережающего развития методов, средств и механизмов управления информационными потоками с применением перспективных разработок в данной области. В этой ситуации авторы предлагают создать информационную государственную корпорацию (ИГК), основные цели которой заключаются в развитии инновационной инфраструктуры в сфере информационного обеспечения; оценке рисков и разработке мер по оказанию эффективного противодействия информационной агрессии; формировании стратегии издательской и вещательной политики СМИ и др. По замыслу авторов работы, ИГК должна представлять собой организационный механизм реализации государственной политики в сфере контроля и управления межгосударственным информационным противоборством, а также противодействием антироссийским информационным войнам.

Среди других работ по данной тематике можно выделить доклады *О.Ю. Завьялова* «Проблема распространения новостной информации в сети Интернет как угроза информационной безопасности государства»; *П.И. Мачкина* «Структуризация проблем ведения информационных войн и реализации информационной борьбы противоборствующих сторон»; *А.И. Портивечна*, *М.А. Портивечной* «Использование Интернета в политическом процессе как фактор социальной безопасности»; *М.А. Стюгина* «Информационные операции в антагонистических конфликтах».

Достаточно большая группа докладов посвящена решению общих вопросов управления информационной безопасностью автоматизированных систем. В их числе работы Р.И. Дмитриева, Е.А. Курако, В.Н. Лебедева, В.Е. Москалькова,



В.Л. Орлова «Организация защищенного информационного взаимодействия в разнородных средах»; А.А. Кочкарова,. Е.А. Микрина «Обеспечение живучести и стойкости информационно-управляющих систем космических аппаратов»; А.Н. Павлова, Б.В. Соколова «Многокритериальная кластеризация структурных состояний катастрофоустойчивых информационных систем»; В.В. Кульбы, А.Б. Шелкова, Ю.М. Гладкова «Методы организации мониторинга и аудита информационной безопасности автоматизированных систем».

В рамках заседания четвертой секции рассмотрен комплекс проблем управления экологической и техногенной безопасностью. По данной тематике заслуживают внимания следующие работы: К.Б. Сазонов, А.В. Мусаев, О.Ю. Пашкова, В.В. Куранцов «Вероятностная оценка комплексной безопасности населения и окружающей среды»; М.Ю. Мастушкин «Обеспечение экологической безопасности как базис повышения качества жизни»; О.А. Николайчук «Техногенные катастрофы, как следствие неопределенности прочностной надежности и технического состояния»; Д.А. Манукьян, Н.П. Карпенко «Нормирование антропогенной нагрузки для обеспечения экологической безопасности природной среды»; В.К. Завадский, E.Б. Каблова, Л.Г. Кленовая «Проблемы безопасности объектов ракетно-космической техники»; И.М. Панасенко, В.М. Бабиков «Некоторые вопросы учета человеческого фактора в оценке надежности и безопасности социотехнических систем»; В.К. Мусаев, А.А. Попов, В.Г. Ситник, А.Л. Федоров «Управление безопасностью строительного объекта при эксплуатации»; А.Н. Шайкин, А.Ф. Егоров «Идентификация моделей на базе нечетких сетей Петри для целей управления безопасностью технологических процессов».

Широкий круг теоретических и практических проблем управления безопасностью сложных объектов рассмотрен в рамках **пятой секции** конференции.

Проблемам разработки методов моделирования и принятия решений по предупреждению и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций посвящены следующие доклады: В.Т. Олейников, А.А. Мосягин «Логико-вероятностное управление риском при обеспечении безопасности потенциально опасных объектов»; А.В. Смирнов, Н.Г. Шилов, Т.В. Левашова, А.М. Кашевник «Персонифицированная поддержка принятия решений при ликвидации чрезвычайных ситуаций»; Д.С. Сомов «Применение теории графов при разработке и использовании моделей нештатных ситуаций в сложных системах»; А.А. Лазарев «Построение приближённых решений задач теории расписаний с минимальной оценкой абсолютной погрешности»;

А.Б. Тряпицын «Применение теории нечетких множеств для выбора мероприятий по снижению индивидуального риска гибели человека с учетом нечетких ограничений на действия»; А.В. Шумов «Проблема идентификации фазового пространства в решении некоторых задач безопасности».

Ряд интересных докладов посвящен вопросам обеспечения безопасности функционирования промышленных и транспортных систем и объектов, среди которых можно отметить следующие работы: С.Ю. Бутузов, Н.А. Матвеев, А.В. Слабченко «Математическая модель величины энтропии автоматизированных систем обеспечения комплексной безопасности объектов»; А.В. Вицентий «Разработка алгоритма управления параметрами технологического процесса в условиях неопределенности»; В.К. Завадский, Е.Б. Каблова, Е.И. Тропова «Концепция управления безопасностью объектов РКТ в их жизненном цикле»; О.В. Дружинина, О.Н. Масина «О методе оценки безопасности функционирования динамической системы на основе технической устойчивости»; В.Г. Борисов, С.К. Данилова, В.О. Чинакал «Повышение безопасности управления морским подвижным объектом с использованием методов интеллектуальной поддержки принятия решений»; С.Е. Бузников «Сравнительный анализ решений задачи безопасной эксплуатации автомобилей»; О.А. Николайчук «Обеспечение безопасности технических систем на основе прецедентного подхода».

В этом году на конференции представлен ряд докладов, посвященных проблемам обеспечения пожаровзрывобезопасности, среди которых достаточно интересны работы В.И. Зыкова, А.П. Иванникова «Математическая модель радиоканальной системы адресного мониторинга пожароопасных объектов»; А.Б. Мосягина «Технология управления пожарно-спасательными подразделениями»; И.М. Тетерина «Теоретико-игровые модели в системах поддержки принятия решений по обеспечению пожарной безопасности объектов»; Б.А. Мавлянкариева, А.А. Насырова, Б.Б. Хатамова, А.Ю. Пен, Т.К. Жумадиловой «Формализованный выбор технических средств системы пожаровзрывобезопасности объекта».

Наиболее разнообразной по тематике оказалась **шестая секция.** Традиционный интерес участников конференции вызвали работы, посвященные проблемам создания и эксплуатации автоматизированных систем на основе развитых информационно-вычислительных сред в различных предметных областях. В рамках данной тематики следует отметить доклад В.Б. Бриткова, В.А. Геловани, И.Э. Дрибинской, В.Е. Пермитина «Информационно-аналитическая и программно-технологическая поддержки принятия решений, связанных с



безопасностью», в котором основное внимание уделено изложению результатов выполнения цикла научно-исследовательских работ по направлению «Электронная Земля: научные информационные информационно-коммуникационные технологии, информационное обслуживание, взаимодействие с национальными и международными системами» программы фундаментальных исследований Президиума РАН «Разработка фундаментальных основ создания научной распределенной информационно-вычислительной среды на основе технологий GRID». Авторы детально анализируют возможности, характеристики и перспективы развития разработанной информационной инфраструктуры, содержащей сетевые ресурсы, средства поиска данных, серверы метаданных, серверы баз данных, серверы приложений и распределенных вычислений, веб-службы и GRID-узлы обработки геоданных, информационно-аналитические и другие ресурсы, размещаемые на геопорталах и включенные в технологический контур информационно-аналитической среды ИАС GeoSINet (Geographic Science Information Network). В докладе подчеркивается, что разработка указанной инфраструктуры потребовала проведения целого комплекса междисциплинарных исследований, направленных на создание структуры информационно-коммуникационного пространства как среды знаний, анализа данных и научного прогноза по наукам о Земле.

Следует также отметить ряд представленных на секции заметных работ, которые, несмотря на разнообразие тематики, объединяет актуальность рассматриваемых проблем и востребованность результатов их решения. К ним в первую очередь относятся доклады И.В. Чернова «Методы и программные средства оценки эффективности сценариев управления сложными социально-экономическими системами»; А.А. Муранова «Средства повышения безопасности управления на основном участке сближения пилотируемых космических аппаратов»; Д.А. Гольдина «Разработка архитектуры интеллектуальных систем поддержки и принятия решений, обеспечивающих повышение безопасности функционирования движущихся объектов»; А.М. Касимова, Э.М. Мамедли, Л.И. Мельникова «Разработка принципов построения резервного канала системы улучшения устойчивости и управляемости маневренного самолета»; С.Е. Бузникова, Д.С. Елкина «Автомобильная система объективного контроля и регистрации нарушений правил дорожного движения»; Ю.В. Самойловой «Совершенствование государственной системы управления международными перевозками опасных грузов автомобильным транспортом по дорогам Российской Федерации»; М.С. Борисовой «Обеспечение устойчивого и безопасного управления бюджетным процессом с использованием автоматизированных интеллектуальных СППР».

Доклады, представленные на седьмой секции, посвящены рассмотрению правовых аспектов обеспечения безопасности сложных систем. О широте и многоаспектности рассматриваемых проблем можно судить по следующим работам: И.Н. Крапчатова «Правовые аспекты обеспечения безопасности лиц, содействующих уголовному правосудию»; А.Ю. Гориславец, Н.В. Овчинникова, С.А. Овчинников «Механизмы правового обеспечения проектов и интересов участников российской системы государственно-частного партнерства»; М.А. Вус «Актуальные проблемы совершенствования правового института защиты государственной тайны в Российской Федерации»; Д.А. Ястребов, А.А. Попков «Международно-правовое регулирование сотрудничества в борьбе с преступлениями в сфере компьютерной информации»; С.В. Тимофеев «Некоторые правовые аспекты защиты банковской системы от инвестиций, имеющих криминальное происхождение»; П.М. Владимирова «Правовой анализ нарушений законодательства о защите конкуренции»; Ю.С. Сидорович «Специфика полномочий Федеральной налоговой службы в области контроля за соблюдением законодательства о налогах и сборах».

К сожалению, объективные ограничения на объем данной публикации не позволили сделать полноценный обзор и тем более раскрыть содержание представленных разнообразных по тематике и безусловно интересных докладов. Более подробно ознакомиться с представленными работами можно в опубликованных материалах конференции¹.

В заключительном слове председательствующий на конференции д-р техн. наук, профессор В.В. Кульба выступил с информационным сообщением о планах по проведению Семнадцатой конференции по рассматриваемой тематике, которая, по сложившейся традиции, пройдет в конце 2009 г. в Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН.

Телефон оргкомитета (495) 334-89-59, e-mail: conf20@ipu.ru. Технический секретариат конференции: Галина Павловна Харькова, Алла Фариссовна Ибрагимова.

Ученый секретарь Оргкомитета А.Б. Шелков

Шелков Алексей Борисович — канд. техн. наук, вед. науч. сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ☎(495) 334-89-59; e-mail: shelkov@ipu.ru.

 $^{^1}$ *Проблемы* управления безопасностью сложных систем: Труды XVI международной конференции. Москва, декабрь 2008 г. / Под ред. Н.И. Архиповой, В.В. Кульбы. — М.: Издательский центр РГГУ. — 498 с.



«УПРАВЛЕНИЕ ИННОВАЦИЯМИ — 2008»: ИННОВАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ПОРОГЕ ЭКОНОМИЧЕСКОГО КРИЗИСА

С 17 по 19 ноября в Институте проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН состоялась международная научно-практическая конференция «Управление инновациями — 2008». В ее организации и проведении участвовали также Московский авиационный институт, Национальный институт развития РАН и еще ряд научно-образовательных центров России.

В работе конференции приняли участие более 100 человек, представлявших более 50 организаций — институтов и научных центров РАН, вузов, отраслевых и ведомственных научных учреждений, представители административных и деловых кругов, коммерческих предприятий, научно-производственных организаций, консалтинговых фирм, учёные из стран СНГ (Украина, Белоруссия, Казахстан). Были заслушаны 8 пленарных и 33 секционных доклада, прозвучал ряд кратких сообщений.

Открывая пленарное заседание, председатель Оргкомитета д-р экон. наук Р.М. Нижегородиев (Институт проблем управления — ИПУ) остановился на ключевых проблемах изучения инновационных процессов, которые обнажил разразившийся мировой экономический кризис. Проблемы, с которыми столкнулось мировое хозяйство, хотя и называются финансовым кризисом, имеют нефинансовую природу. Основная, глубинная причина кризиса — глобальные технологические сдвиги, лишающие правительства возможности проводить макроэкономическую политику при помощи прежних инструментов. Обилие внешних эффектов порождает провалы рынка и делает невозможным или абсурдным применение косвенных регулирующих мер, к которым все привыкли. Мы являемся свидетелями заката целой эпохи эпохи либерализма в макроэкономической политике, она никогда уже не вернется. Упрощенно говоря, сегодня уже нельзя надеяться на «автопилот», необходимо переходить на «ручное» управление, и чем раньше это поймут правительства, тем лучше для мирового хозяйства.

Стимулирование инновационных процессов, отметил в своем докладе д-р экон. наук *О.Г. Голиченко* (Центральный экономико-математический институт РАН), сейчас происходит так, как будто мы продолжаем жить в экономике всеобщего подъема. Очень скоро обнаружится, что институциональные механизмы, лежащие в основе прини-

маемых решений, дают серьезные сбои. Докладчик подробно остановился на механизмах государственно-частного партнерства как инструмента инновационного развития России.

Управление инновациями, как и любыми процессами, может осуществляться лишь на основе определенного комплекса моделей, позволяющих понять, как устроен объект, которым мы управляем, отметил заместитель директора ИПУ чл.-корр. РАН Д.А. Новиков. Его доклад был посвящен различным подходам к моделированию инновационных процессов и обсуждению применимости некоторых классов моделей. Докладчик остановился на оптимизации сценариев и траекторий динамических систем и показал возможность ситуаций, когда найденное оптимальное решение противоречит априорно заданным параметрам развития системы.

Д-р экон. наук *Б.В. Сорвиров* (Гомельский государственный университет им. Ф. Скорины, Республика Беларусь) посвятил свой доклад особенностям национальной инновационной системы Беларуси. Он остановился на инновационной политике правительства и механизмах ее реализации на уровне страны и отдельных регионов. Представленная докладчиком «инновационная карта» Беларуси вызвала комментарии и сопоставления, прозвучавшие в дальнейших докладах.

Обсуждая инновационные процессы и их воздействие на экономический рост, мы не можем оставаться безразличными к характеру этого роста и к тем источникам, благодаря которым он достигается, отметил д-р экон. наук О.С. Сухарев (Институт экономики РАН). Докладчик представил аналитические модели, позволяющие на качественном уровне объяснить влияние различных стратегий поведения частных агентов (новаторов и консерваторов) на макроэкономические процессы. Без учета этих обстоятельств переход России к инновационному пути развития останется простым пожеланием, не подкрепленным реальными механизмами.

Д-р экон. наук *В.Г. Варнавский* (Институт мировой экономики и международных отношений РАН) остановился на трех возможных стратегиях инновационного участия стран в мировом разделении труда: импорт готовых образцов новой техники; импорт технологий, на основе которых она создается; импорт научных и инженерных кадров,



способных ее создать. Реализация первой из них обрекает страну на технологическое отставание и зависимость от более развитых стран. Масштабные модернизационные сдвиги такой стране недоступны. Поэтому необходимо пересмотреть ключевые аспекты формирования конкурентных преимуществ в критически важных областях знаний.

На проблемах трансфера технологий в региональной экономике остановился в своем докладе канд. экон. наук С.М. Никитенко (Кузбасский государственный технический университет, г. Кемерово). Он подчеркнул, что механизмы решения этих проблем существенно зависят от общей логики развития региона, от того, каковы факторы его экономического роста.

Современное состояние инновационной деятельности в Казахстане охарактеризовала канд. экон. наук Е.А. Вечкинзова (Карагандинский государственный технический университет, Республика Казахстан). В докладе отмечалось, что в части либерализации хозяйственной системы (например, участия иностранных инвесторов в экономике) Казахстан опередил многие страны с переходной экономикой, включая Россию. Однако это поставило правительство перед необходимостью решать непростые проблемы косвенного стимулирования инноваций, причем при помощи традиционных рыночных инструментов, которые во многом еще не созданы или действуют совсем не так, как в странах с развитой рыночной экономикой.

В рамках конференции на правах круглого стола состоялись четвертые Друкеровские чтения «Институциональные основы инновационных процес**сов**». Открывая чтения, д-р экон. наук Р.М. Нижегородцев отметил, что большинство макросистем регулируется так, как если бы они находились в равновесном состоянии, тогда как на самом деле типично именно неравновесие. Два типа неравновесия — рецессионный и инфляционный разрывы — подразумевают разные сценарии развития событий, разную логику регулирования. Те факторы, которые стимулируют инновационные процессы в системах, испытывающих рецессионный разрыв, являются барьерами на пути экономического роста в системах, пребывающих в состоянии инфляционного разрыва. Основная трудность для нашей страны заключается в том, что разные регионы неравновесны в разных смыслах, поэтому они должны управляться в различных режимах, здесь достижение единой логики невозможно.

Д-р экон. наук Л.Г. Мельник (Сумский государственный университет, Украина), представляя доклад, подготовленный совместно с О.И. Мельник и И.Б. Дегтяревой, остановился на основных свойствах информации как хозяйственного ресурса и как фактора производства. Информация да-

леко не всегда выступает общественным благом, как принято считать в учебниках. Но отнести ее к частным благам тоже не представляется возможным. Двойственность такого рода не позволяет применить стандартные клише к проблеме общественного движения информации: одна ее часть подлежит товарному обращению, другая часть неминуемо остается в стороне от открытого рынка.

Проблеме управления знаниями в современной корпорации посвятил свой доклад канд. экон. наук *М.В. Власов* (Институт экономики УрО РАН). Согласившись с предыдущим докладчиком в том, что информация бывает разной, и от ее характера существенно зависят общественные формы ее движения, он предложил ряд количественно измеримых параметров, позволяющих отслеживать эффективность аккумулирования и использования информации разного рода в пределах одной фирмы (корпорации). В дискуссии, развернувшейся в ходе обсуждения доклада, выступающие отметили необходимость доработки и конкретизации предложенных показателей.

Канд. экон. наук В.Н. Хасанова (Сургутский государственный педагогический университет) остановилась на роли человеческого капитала в создании и стимулировании инноваций. Для развития инновационных процессов небезразличен характер компетенций, которыми располагают их участники, поэтому для успешного осуществления технологической модернизации в масштабе страны необходимо заранее позаботиться о формировании слоя специалистов высшей квалификации, способных осуществить этот сдвиг. С решением данной задачи непосредственно связаны перспективы развития образовательной системы в нашей стране.

Доклад Т.В. Коротких (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет — Сибстрин), подготовленный совместно с Т.В. Федоровой, был посвящен проблеме обеспечения специалистов доступным жильем. Предложенная докладчиком идея, впрочем, не доведенная до состояния окончательного бизнес-плана, заключается в том, что организация, нуждающаяся в закреплении специалистов, на определенный срок предоставляет им дешевое жилье.

Заседание секции «Инновационный менеджмент и национальные инновационные системы» открылось докладом канд. экон. наук М.А. Никитенковой (Институт США и Канады РАН), посвященным развитию информационной инфраструктуры экономики знаний. Общая тенденция заключается в переходе к многоуровневой системе масштабного государственного регулирования, предполагающей совершенствование антимонопольного законодательства.



В докладе *С.А. Самоволевой* (Центральный экономико-математический институт РАН), подготовленном совместно с *О.Г. Голиченко*, дан анализ налогового стимулирования инновационной деятельности в промышленно развитых странах. Рассмотрены примеры традиционных и новых форм косвенного стимулирования инвестиций в ресурсы, необходимые для создания инноваций.

Канд. экон. наук *И.В. Гонтарева* (Харьковский национальный экономический университет, Украина) посвятила доклад источникам формирования системной эффективности предприятия: качество потенциала предприятия, степень функциональной организованности, уровень взаимодействия с внешней средой. Рассмотрена проблема оценки системной эффективности в виде комплекса показателей.

Среди косвенных методов стимулирования инноваций особое место занимают налоги, отметил д-р экон. наук *И.А. Майбуров* (Уральский государственный технический университет — УПИ, г. Екатеринбург). Он обозначил основные тенденции развития налоговой системы и сделал выводы о том, что в настоящий момент она недостаточно стимулирует процессы реновации основных фондов. Между тем, для внесения необходимых изменений не нужно ни масштабных затрат, ни значительного времени.

Д-р экон. наук *М.Ю. Архипова* (Институт проблем информатики РАН) в докладе, подготовленном совместно с *И.М. Зацманом*, коснулась основных тенденций патентной активности в сфере информационных и телекоммуникационных технологий. В докладе обсуждается сопоставление структуры высокотехнологичных патентных заявок в России и развитых странах, предложена модель, позволяющая прогнозировать уровень инновационной активности регионов России.

О различных направлениях совершенствования правовой системы в целях привлечения иностранных инвестиций в инновационную сферу России рассказала в своем докладе В.П. Баранова (Федеральное агентство по науке и инновациям). Помимо общего смягчения инвестиционного климата, нужно предпринять ряд целенаправленных мер, призванных обеспечить надлежащую отраслевую структуру иностранных инвестиций. Сегодня эта проблема весьма далека от приемлемого решения.

Доклад *Е.Ю. Бальчевой* (Московский физико-технический институт) был посвящен исследованию стратегий предприятия в отношении использования интеллектуальной собственности. На основе выделенных показателей (плотность, интенсивность, масштаб, производительность создания интеллектуальной собственности) при помощи корреляционного анализа было показано, что изменчивость стратегических установок характер-

на для малых предприятий. Крупные предприятия склонны к доминирующему использованию интеллектуальной собственности, но эффективность ее создания для таких предприятий минимальна.

Для определения перспектив развития национальной инновационной системы необходимо использовать систему показателей, характеризующих затраты на исследования и разработки и результаты исследовательской деятельности, отметила А.Д. Гурова (Центр исследований и статистики науки Минобрнауки РФ) в докладе, подготовленном совместно с А.Б. Чикаловым. Используя систему показателей, принятую в странах ОЭСР, докладчику удалось выявить ряд проблемных моментов и несколько конкурентных преимуществ научно-технического развития России. В частности, высокий уровень образования сочетается с относительно низкой научной продуктивностью. Иностранные инвестиции в сферу исследований невелики, однако достаточно весома доля патентов, зарегистрированных совместно с иностранными специалистами.

В докладе *Н.В. Дорофеенко* (Московский физико-технический институт) обсуждались результаты исследования внутреннего потенциала и внешних связей сектора исследований и разработок в обрабатывающей промышленности России в сравнении с аналогичными секторами Сингапура, Южной Кореи и Франции.

Структурный подход к развитию инновационных проектов был предложен в докладе А.И. Мосалёва (Владимирский государственный университет). Основываясь на логике структурного анализа, автор показал, что институты макроэкономической системы выступают в качестве системообразующего фактора при решении ряда частных проблем социально-экономического развития.

Управлению инновационными процессами на предприятии в условиях кризиса посвятил доклад канд. экон. наук *И.Е. Бельских* (Волгоградский государственный технический университет). Докладчик обозначил специфику применения такой группы институциональных инструментов, как общественные связи бизнеса. Развитие теневых отношений, в известной мере неизбежно сопровождающее кризис, сырьевой характер российской экономики, относительно слабое влияние институтов гражданского общества на информационные источники затрудняют использование данного инструментария в ряду антикризисных мер.

Д-р техн. наук А.И. Орлов (МГТУ им. Н.Э. Баумана) остановился на вопросах организационно-экономического обеспечения инновационной деятельности. Управление жизненным циклом продукции, контроллинг, организационно-экономическое моделирование, использование современных экспертных технологий — таковы инстру-



менты, призванные поднять на качественно новый уровень оценку эффективности проектов и методику составления бизнес-планов.

Обоснованию наиболее общих законов, по которым развиваются системы управления, посвятил доклад канд. техн. наук *В.Н. Шляпин* (Всероссийская академия внешней торговли). Предложенные автором схемы вызвали дискуссию, в ходе которой прозвучали примеры того, как работают или не работают законы, отражающие взаимодействие управляющих и управляемых подсистем.

В докладе А.Т. Сафина (Московский авиационный институт) прозвучали предложения по формированию сбалансированной системы показателей внутрикорпоративного контроллинга в авиастроительной компании. Известные системы показателей необходимо серьезно адаптировать с учетом отраслевой специфики и стратегических задач, стоящих перед фирмой.

Заседание секции «Региональные инновационные системы и моделирование инновационных процессов» открылось докладом канд. экон. наук Л.П. Зеньковой (Белорусский торгово-экономический университет потребительской кооперации, г. Гомель, Республика Беларусь). Она представила результаты построения регрессионной модели формирования экономических циклов в Республике Беларусь, созданной на основе формализации институциональных факторов. Один из важных выводов заключается в том, что деятельность правительства, обусловленная логикой бюджетного планирования, способна порождать экономические циклы, причем этот вывод подтверждается данными не только Беларуси, но и России.

Д-р экон. наук В.Я. Заруба (Харьковский политехнический институт, Украина) в совместном докладе с Н.В. Кузьминчук предложил воспроизводственную схему инновационной деятельности в обществе. Макроэкономический подход докладчика вызвал дискуссию, в ходе которой была выявлена необходимость разработки адекватных количественных показателей макроэкономической эффективности инновационных процессов.

Необходимость налогового стимулирования воспроизводства человеческого капитала стала лейтмотивом доклада д-ра экон. наук *И.А. Майбурова* (Уральский государственный технический университет — УПИ). Докладчик сделал вывод о том, что сложившаяся система налогообложения юридических лиц скорее побуждает частных агентов экономить на образовательных процессах, нежели их осуществлять или предъявлять спрос на них. Такое положение дел перекладывает на фирмы заботу о квалификации сотрудников, тогда как надлежащее стимулирование сферы образования,

несомненно, позволило бы решить значительную часть возникающих проблем.

Д-р экон. наук *Н.В. Климова* (Академия маркетинга и социально-информационных технологий, г. Краснодар) посвятила свой доклад развитию инновационной экономики на основе формирования и использования образовательного ресурса. В качестве примера она привела систему подготовки специалистов в области бухучета и аудита, основанную на отслеживании опережающих потребностей практики и своевременном внедрении образовательных нововведений в процесс обучения.

Доклад канд. экон. наук И.Н. Щепиной (Воронежский государственный университет), подготовленный совместно с О.Г. Голиченко и Е.В. Ковешниковой, был посвящен обсуждению условий, при которых инновационная деятельность российских регионов формирует потенциал их социально-экономического развития. Основным инструментом исследования служила кластеризация регионов по ряду инновационно значимых признаков и регрессионный анализ факторов роста внутри каждого кластера. Основной вывод заключается в том, что регионы, которые активно занимаются инновационной деятельностью и рационально используют высококвалифицированный труд, достигают на инновационном ядре производительности труда, значительно превосходящей средний уровень. В дискуссии, развернувшейся в ходе обсуждения этого доклада, было отмечено, что перспективной целью представленных в нем исследований следует считать построение профиля региональных инновационных систем, т. е. формирование сбалансированной системы показателей, характеризующих инновационную активность регионов.

Канд. экон. наук *О.В. Писарчук* (Харьковский национальный экономический университет, Украина) посвятила доклад, разработанный в соавторстве с Ю.Б. Ивановым, проблемам оценивания инновационного развития предприятий при помощи методов нечеткой логики. Предложенный аппарат в определенном смысле более адекватен логике моделируемых объектов, чем традиционные инструменты, используемые для оценки перспектив инновационного развития.

Оценка социальной и экологической эффективности инноваций не может осуществляться по тем же принципам, что и оценка их экономической эффективности, отметила в своем докладе канд. экон. наук *Н.А. Шибаева* (Орловский государственный технический университет). Однако региональные инновационные системы не всегда способны правильно отделить перспективные технологии от тех, чей потенциал уже исчерпан. Возникающие при этом проблемы серьезно отражаются на макроэкономической динамике регионов.



Д-р хим. наук *Н.И. Егоренков* (Гомельский государственный технический университет им. П.О. Сухого, Республика Беларусь) в совместном докладе с *Е.Н. Казаковой* и *М.Н. Стародубцевой* на основе моделей макродинамики показал, что цикличность экономических систем в известном смысле аналогична физическим (в частности, газодинамическим) циклам. Характеризуя различные стационарные состояния макросистем и фазовые переходы между ними, докладчик объяснил, что широко известный закон денежного обращения (уравнение И. Фишера) представляет собой линейное приближение более общих и более тонких закономерностей, которым подчиняется динамика макросистем.

Инновационная активность строительного комплекса региона существенно зависит от приоритетов макроэкономического развития, отметила *Е.В. Гладкова* (Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет — Сибстрин) в докладе, подготовленном совместно с *Д.А. Обозным.* Специфика строительной отрасли побуждает более внимательно относиться к осуществляемым в ней инновационным процессам, поскольку обновление производства в ней происходит не столь часто, как во многих других отраслях.

Прозвучавшие идеи поддержала и развила *М.В. Ядаганова* (Новосибирский государственный архитектурно- строительный университет — Сибстрин), представившая результаты, полученные в соавторстве с *Т.А. Ивашенцевой*. Она подробно остановилась на основных параметрах развития человеческого капитала отрасли и объяснила, почему строительная отрасли и объяснила, почему строительная отрасль продолжает испытывать дефицит квалифицированных кадров на фоне удовлетворительной в целом ситуации в других отраслях. Предложенные в докладе рекомендации направлены на формирование системы компетенций, которые позволили бы облегчить развитие человеческого потенциала данной отрасли.

Канд. экон. наук *О.В. Бурый* (Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми Научного центра УрО РАН) посвятил доклад анализу проблемной ситуации в топливно-энергетическом комплексе Республики Коми, выражающейся в диспропорции между общим уровнем развития отрасли и демонстрируемой инновационной активностью. В качестве основного инструмента исследования предложена «матрица инновационного развития», позволяющая на основе сопоставления технологических, организационных и институциональных условий идентифицировать движущие силы и ограничители инновационных изменений в ТЭК.

Доклад канд. экон. наук В.Н. Круглова (Институт управления, бизнеса и технологий, г. Калуга) был посвящен обсуждению соотношения прямых и косвенных инструментов стимулирования инновационных процессов в российских регионах. В качестве примеров докладчик обозначил приоритеты внедрения инновационных механизмов в региональный сектор АПК, основываясь на обширном фактическом материале Калужской области.

На заключительном пленарном заседании с информацией о докладах и рекомендациях, прозвучавших на секционных заседаниях, выступили руководители и ведущие секций д-ра экон. наук *Р.М. Нижегородцев*, *О.Г. Голиченко*, *Ю.Б. Иванов*, д-р хим. наук *Н.И. Егоренков*.

Выступающие продолжили дискуссию о методологических основаниях исследования инновационных процессов. В частности, Н.И. Егоренков отметил некоторые мифы, касающиеся инноваций и институтов, обслуживающих их внедрение. Прежде всего, само понятие рыночной экономики воспринимается догматически: либо она построена, либо нет. Между тем, она бывает очень разной и имеет много стационарных состояний. Далее, инновации иногда сводят к технологиям. Но существуют и финансово-экономические инновации, которые также подлежат изучению. Наконец, среди многообразных более или менее эффективных состояний макроэкономической системы существуют более или менее социально справедливые. Это же касается и векторов развития макросистем, и их динамики. К этим вопросам теория не может быть безразличной, как это часто оказывается сегодня.

Выступающие отметили высокий научный и организационный уровень конференции. Они поддержали идею расширения круга обсуждаемых проблем, например, проблемы разработки междисциплинарных, «стыковых» направлений, что позволяет взглянуть на предмет изучения с разных сторон и обменяться исследовательским опытом.

Участники конференции выразили мнение, что в 2009 году, когда исполняется 100 лет со дня рождения П. Друкера, необходимо провести ряд заседаний, посвященных этой знаменательной дате, причем в разных городах России и ближнего зарубежья, и завершить эту серию Друкеровских чтений проведением большой научной конференции в Москве, в ИПУ РАН в конце 2009 года.

Председатель Оргкомитета Р.М. Нижегородцев

Нижегородцев Роберт Михайлович — д-р экон. наук, гл. науч. сотрудник, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва, ☎(495) 334-79-00; e-mail: bell44@rambler.ru.



CONTENTS & ABSTRACTS

MODIFICATION OF THE MULTICHANNEL	
LEVINSON RECURSION	2

Klimchenko V.V.

Relations between the covariance matrices that are being calculated during the procedure of multichannel Levinson recursion are investigated. The dependencies revealed lead to halving operations of matrix inverting comparing to the standard version of the algorithm.

Keywords: system identification, multivariate time series, bock-toeplitz matrix, fast algorithm, Multichannel Levinson recursion.

Bobrikov N.M., Denisov I.K., Kuznetsov S.I., and Shubladze A.M.

The paper offers the procedure for automatic search for settings of regulators optimal with respect to the criterion of maximum degree of stability and matching structures that are determined by the rightmost roots of certain characteristic polynomial for PI- and PID- control laws. This procedure is developed on the basis of structures optimal with respect to the stated sense that have been derived earlier. The possibility to solve the examined task in different cases up to ultimate structures is shown.

Keywords: automatic search, systems with maximum degree of stability, solutions optimal with respect to the degree of stability.

Kurdukov A.P. and Timin V.N.

Second part of the paper addresses the problem of external disturbance attenuation in a power system. The problem solution is based on the technique of closed-loop pole placement in a given region of complex plain, as well as H_{∞} technique of loop shaping using linear matrix inequalities. The comparison of features of loop systems with regulators that have been synthesized with and without H_{∞} technique of loop shaping is given.

Keywords: power system control, H_{∞} control theory, linear matrix inequalities, disturbance attenuation, loop shaping, closed-loop pole placement in a given region.

ESTIMATION OF INFLUENCE OF GOVERNMENT
ORDER ON THE REPRODUCTION OF GROSS
DOMESTIC PRODUCT

Gusev V.B., and Kosjanenko A.V.

The problem of forecasting macroeconomic parameters of the response of economic system on the change of volumes of government order connected with realization of the large-scale project is considered.

Keywords: scenario conditions, methods of indicative planning, model of the long-term forecast of reproduction of gross domestic product, volume of the government order, two ways model of the intermediate term forecast.

TECHNIQUES AND ALGORITHMS FOR ESTIMATION OF BACKLOG REIMBURSE RESERVE IN A SOCIAL INSURANCE SYSTEM . . . 31

Gladkov Yu.M., Martinov V.L. and Shelkov A.B.

Formalized techniques for estimation of employer's backlog reimburse reserve of compulsory professional accident and disease insurance are considered.

Keywords: social insurance, insurance premium, backlog reserve.

Kleparskiy V.G.

Two components of the efficiency/cost ratio have been revealed with the use of «passive» experiment. The first component — a starting level of effectiveness/cost ratio is determined by the institutional development index. The second component — the current value of efficiency/cost ratio is determined by the level of use of fixed and human capital in the control process. A reasonably high adequacy of control of Russian economy is shown.

Keywords: effectiveness of control, efficiency/cost ratio, institutional development, human capital, adequacy of control.

TECHNICAL EFFICIENCY AND ESTIMATION OF AN EXPECTED PRODUCTION VOLUME IN THE VIEW OF THE STOCHASTIC FRONTIER PRODUCTION FUNCTION CONCEPT......40

Barminsky A.V.

The paper gives some recommendations (a strategy of inefficiency factors management) about how an indus-



trial economical subject should organize its operation to maximize efficiency of its activity. The mentioned strategy rests upon analysis of technical efficiency in the productive potential model, which is based on the stochastic frontier production function concept. In conclusion, this approach is compared with the classic regression analysis.

Keywords: production function, production factors, stochastic production function, stochastic frontier production function, inefficiency factors, technical efficiency.

REGIONAL POLYMERIC COMPLEX DEVELOPMENT ON THE BASIS OF CLUSTER METHOD (BY THE EXAMPLE OF SAMARA REGION) 47

Jagudin S.Ju., and Dubov L.Ju.

The paper considers the advantages of cluster technique over classic methods of regional industry management. The necessity to work out complex strategy of sustainable development of territorial and branch cluster of concrete region is proved. The main directions and measures of increasing efficiency of polymeric complex were developed for Samara region as an example.

Keywords: regional polymeric complex, cluster method, development strategy.

Silaev A.V.

The problem of reduction of flexible oscillation magnitude in angular motion of a large space structure is considered. The algorithm of parameter adaptation of a base orientation control law is proposed to solve the problem. The algorithm is based on estimation of the total envelope of flexible modes and its minimization by means of random search with training.

Keywords: large space structure, flexible oscillation, envelope, adaptive control.

IMPROVEMENT OF POWER CHARACTERISTICS OF LIQUID-PROPELLANT ROCKETS BY MEANS OF AUTOMATIC CONTROL. PART II: ONBOARD FUEL CONSUMPTION CONTROL SYSTEMS. 59

Andrienko A.Ya., and Ivanov V.P.

Realization of substantive provisions of improvement of power characteristics of liquid rockets in the form of fuel consumption control systems family is briefly described and their block diagrams are presented.

Keywords: liquid rocket engine, power characteristics, fuel consumption control system.

Faizrahmanov R.A., and Kichkin A.V.

The problems of extraction of diagnostic information and decision-making on possible atherosclerotic affection of human vessels are considered. The system of bio-medical signals processing and calculation of parameters of vessels elastic characteristics on the basis of pulse-wave form analysis is described. The system enabled to form the diagnosis of a patient's cardiovascular system condition on the basis of the expert base.

Keywords: medical diagnostics, pulse-wave form, diagnostics of a human vessels condition, expert system.

87

13-й Симпозиум IFAC по информационным технологиям и управлению в промышленности







Третья международная конференция

Управление развитием крупномасштабных систем

Российская академия наук, Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Национальный комитет по автоматическому управлению, Научный совет по теории управляемых процессов и автоматизации ОЭММПУ РАН

объявляют о проведении

Третьей международной конференции "Управление развитием крупномасштабных систем" MLSD'2009

Направления и темы секционных заседаний:

- ✓ госхолдинги и госкорпорации;
- ✓ проблемы управления развитием крупномасштабных систем, включая ТНК, методы и инструментальные средства управления инвестиционными проектами и программами;
- ✓ имитация и оптимизация в задачах управления развитием крупномасштабных систем;
- ✓ управление топливно-энергетическими, транспортными и другими системами;
- ✓ информационное и программное обеспечение систем управления крупномасштабными производствами;
- ✓ мониторинг в задачах управления крупномасштабными системами.

Сроки и место проведения:

с 5 по 7 октября 2009 г., Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва; 5 октября — регистрация участников, открытие, пленарное заседание, секционные заседания, круглый стол;

6 октября — пленарные и секционные заседания, круглый стол;

7 октября — пленарные и секционные заседания, закрытие конференции.

Регистрация и сроки предоставления материалов:

регистрация участников и тезисов докладов — до 25 апреля 2009 г., рассылка информации о приеме тезисов — до 14 июня 2009 г.

> URL: http://ipu-conf.ru/mlsd09/ ⊠ instepan@ipu.rssi.ru, kuzn@ipu.rssi.ru

2 (495) 334-91-69, (495) 334-90-50