



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. Пашенко

Редактор

Т.А. Гладкова

Выпускающий редактор

Л.В. Петракова

Издатель

ООО «СенСиДат-Контрол»

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

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

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

Отпечатано с готовых диапозитивов
в типографии ГКС

Фото на четвертой странице обложки
А.Б. Шубина

Подписано в печать
28.02.2008 г.

Заказ № PB208

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

2.2008

СОДЕРЖАНИЕ

Анализ и синтез систем управления

- Махутов Н.А., Соложенцев Е.Д.** Управление и логико-вероятностные модели риска с группами несовместных событий 2
- Шубладзе А.М., Попадько В.Е., Кузнецов С.И., Якушева А.А.** Исследование оптимальных по степени устойчивости решений при пропорционально-интегральном управлении 12

Управление в социально-экономических системах

- Страхов А.Ф., Страхов О.А.** Применение информационных технологий учета населения для обеспечения достоверных прогнозов и эффективного управления демографическими и социально-экономическими процессами 21
- Спиро А.Г.** Разрывы цен акций фондового рынка: классификация и свойства 30
- Корнюшенко Е.К.** Методологические аспекты практического регрессионного оценивания 34
- Лосев А.Г., Радчик М.В.** Об одной дескриптивно-оптимизационной модели среднесрочного планирования 42

Информационные технологии в управлении

- Дрозд А.В.** Нетрадиционный взгляд на рабочее диагностирование вычислительных устройств 48
- Подлазова А.В.** Генетические алгоритмы на примерах решения задач раскроя 57

Управление техническими системами и технологическими процессами

- Кубышкин В.А., Суховеров В.С.** Система моделирования и управления подвижным воздействием на базе программных средств MATLAB 64

Управление подвижными объектами

- Шубин А.Б., Александров Е.Г., Харченков Г.Г.** Синтез прогнозирующего алгоритма программного разворота большой космической конструкции с изменяющимися параметрами 70

Хроника

- Первая** международная конференция «Управление развитием крупномасштабных систем» MLSD'2007. Аналитический обзор 76
- Шестая** международная конференция «Автоматизация проектирования дискретных систем» CAD DD'07 85

* * *

- Contents and abstracts** 88

УПРАВЛЕНИЕ И ЛОГИКО-ВЕРОЯТНОСТНЫЕ МОДЕЛИ РИСКА С ГРУППАМИ НЕСОВМЕСТИМЫХ СОБЫТИЙ

Н.А. Махутов⁽¹⁾, Е.Д. Соложенцев⁽²⁾

⁽¹⁾ *Институт машиноведения РАН, г. Москва;*

⁽²⁾ *Институт проблем машиноведения РАН, г. Санкт-Петербург*

Рассмотрена связь статистических данных, управления, эффективности и риска на основе логико-вероятностной (ЛВ) теории риска с группами несовместных событий (ГНС). Выполнены систематизации и обобщения по ЛВ-моделям риска с ГНС в разных приложениях. Сделан акцент на логические основы теории риска, переход от базы данных к базе знаний. Описаны области приложений, достоинства, отличия, типы моделей и особенности ЛВ-теории риска с ГНС.

ВВЕДЕНИЕ

Вероятностная (В) логика Дж. фон Неймана и логико-вероятностное исчисление И.А. Рябинина для решения прямых задач риска появились в 1950—1960 гг. независимо друг от друга для разных приложений [1, 2]. В принципе, можно было использовать один термин, считая ЛВ-исчисление развитием В-логики. Однако ЛВ-исчисление породило целое научное направление и стало основой ЛВ-теории риска. Решение обратных задач риска с оценкой вероятностей по набору логических (Л) суждений впервые рассмотрел Нильс Нилссон, но аналитическое решение удалось получить только для простейших случаев. Обратные задачи риска без каких-либо ограничений успешно решаются в ЛВ-теории риска с группами несовместных событий (ГНС) [2, 3].

Основы ЛВ-теории риска с ГНС для целей управления создавались в течение 10 лет [2—4]. Она применялась для решения важных экономических проблем классификации (кредитные риски, рейтинги, мониторинг), инвестирования (портфель ценных бумаг), эффективности (управление социальными процессами), менеджмента (управление риском неуспеха по функциям, предметным об-

ластям, достижению целей и качеству функционирования), коррупции и взяток (выявление взяток по статистике параметров функционирования учреждения, поведения чиновников, обслуживания), управления развитием и испытаниями (организационные и экономические системы, сложные машины и технологии). В процессе решения выявились ее достоинства в сравнении с другими теориями: в два раза большая точность в распознавании «плохих» и «хороших» объектов; в семь раз большая робастность (стабильность) в распознавании объектов; абсолютная прозрачность в оценке и анализе риска; возможность решения новых задач анализа риска объектов; возможность управлять риском и эффективностью и др.

Логико-вероятностная теория риска с ГНС отличается видом используемой информации, типом связей между переменными, законами распределений переменных, методами решения обратных задач, использованием комбинированных моделей риска и др. (табл. 1).

ЛВ-теория риска с ГНС имеет следующие атрибуты: *классификатор научной области* — управление и эконометрика, *проблема* — управление риском в сложных системах, *идея* — введение в табличную БД конечных множеств, что позволяет



Таблица 1

Отличия ЛВ-теории риска с ГНС

В ЛВ-теории риска используются	В других теориях используются
Несколько уровней значений параметров	Два уровня значений параметров
Базы знаний (БЗ)	Базы данных (БД)
Логические зависимости между переменными	Функциональные и корреляционные зависимости между переменными
Дискретные табличные распределения	Нормальное и аналитические распределения
Алгоритмические итеративные методы решения обратных и оптимизационных задач	Аналитические методы решения обратных и оптимизационных задач
Л-функции любой сложности с любым числом объектов в статистике, параметров и градаций параметров	Функции ограниченной сложности с небольшим числом объектов, параметров и градаций параметров
Статические и динамические модели риска	Статические модели риска
Оценки по статистическим данным	Экспертные оценки
Комбинированные Л-модели риска	Отдельные модели риска
Управление по вкладам инициирующих событий в риск и эффективность	Управление по значениям риска и эффективности
Логика и дискретная математика	Теория статистики и непрерывная математика

получить систему Л-уравнений или базу знаний (БЗ), использовать ЛВ-исчисление и решать задачи риска, эффективности и управления.

1. ПЕРЕХОД ОТ БАЗЫ ДАННЫХ К БАЗЕ ЗНАНИЙ

Общим при решении перечисленных во Введении проблем является одинаковое табличное представление статистических данных (базы данных) [2, 3].

База данных (БД) табличного типа (табл. 2) содержит статистическую информацию об однородных объектах (кредитах) или состояниях одного объекта в разные моменты времени (портфель ценных бумаг). В таблице БД число столбцов может достигать нескольких десятков, а число строк — нескольких сотен. В БД значения параметра могут иметь бесконечное множество рациональных значений.

В ячейках таблицы — значения параметров объекта. Для их измерения используются шкалы: логическая, качественная, числовая и др. Последний столбец таблицы — параметр эффективности. Параметры объекта обозначим строчными буквами $z_1, \dots, z_j, \dots, z_n$, а параметр эффективности — строчной буквой y_i , $i = 1, 2, \dots, N$. В клетках табл. 2 — значения параметров z_{ji} , и в последнем столбце — параметра y_i .

База знаний. Поскольку «статистика знает все», то она и есть само знание. Нужно только умело ставить вопросы и избавиться от проклятия «бесконечно большого числа значений», которое плохо воспринимается и мало пригодно для вычислений.

Изменим исходное представление БД, заменив значения параметров на их градации (нумерованные интервалы) (табл. 3). В сценариях и ЛВ-моделях

Таблица 2

База данных — объекты и значения параметров

Объекты	Параметр 1 z_1	...	Параметр j z_j	...	Параметр n z_n	Параметр эффективности, y
1	z_{11}	...	z_{j1}	...	z_{n1}	y_1
...	...	...	...	...	...	...
i	z_{1i}	...	z_{ji}	...	z_{ni}	y_i
...	...	...	...	...	...	...
N	z_{1N}	...	z_{jN}	...	z_{nN}	y_N

База знаний — объекты и градации параметров

Объекты	Параметр 1 Z_1	...	Параметр j Z_j	...	Параметр n Z_n	Параметр эффективности Y
1	Z_{11}	...	Z_{j1}	...	Z_{n1}	Y_1
...	...	...	...	...	...	...
r	Z_{1r}	...	Z_{jr}	...	...	Y_r
...	...	...	...	...	...	...
N	Z_{1N}	...	Z_{jN}	...	Z_{nN}	Y_N

лях риска при решении проблем классификации, инвестирования, эффективности, менеджмента, взяток и управления имеется большое число N объектов (до 1000 и более), событий-параметров n (до 20 и более) и событий-градаций в каждом событии-параметре (от 2 до 40).

Таким образом, в табл. 3 для каждого параметра введены множества с конечным числом элементов (градаций). Если в табл. 2 параметры могли принимать несчетное множество разных значений, то теперь параметр имеет конечное число элементов.

Теперь параметры объекта будем называть событиями-параметрами и логическими переменными и обозначать прописными буквами $Z_1, \dots, Z_j, \dots, Z_n$, а параметр эффективности объекта — событием-параметром эффективности и обозначать буквой Y . В клетках табл. 3 находятся события-градации $Z_{jr}, j = 1, 2, \dots, n; r = 1, 2, \dots, N_j$ параметров $Z_1, \dots, Z_j, \dots, Z_n$. В последнем столбце — события-градации $Y_r, r = 1, 2, \dots, N_y$ параметра эффективности Y .

Для проблемы классификации получим систему Л-уравнений риска:

$$\begin{aligned} Z_{1r_1}^1 \vee \dots \vee Z_{jr_j}^1 \vee \dots \vee Z_{nr_n}^1 &= Y_{r_y}^1, \\ &\dots \\ Z_{1r_1}^i \vee \dots \vee Z_{jr_j}^i \vee \dots \vee Z_{nr_n}^i &= Y_{r_y}^i, \\ &\dots \\ Z_{1r_1}^N \vee \dots \vee Z_{jr_j}^N \vee \dots \vee Z_{nr_n}^N &= Y_{r_y}^N, \end{aligned} \quad (1)$$

где $i = 1, 2, \dots, N; j = 1, 2, \dots, n; r_j \in N_j; r_y \in N_y$.

Систему Л-уравнений типа (1) и будем называть базой знаний, а также рассматривать как систему Л-высказываний и использовать для получения новых знаний. С каждой Л-переменной свяжем вероятность ее истинности. Обозначим для события-параметра: p — вероятность неуспеха; $q = 1 - p$ — вероятность успеха.

Систему Л-уравнений (1) после ее ортогонализации можно преобразовать в следующую систему вероятностных полиномов:

$$\begin{aligned} &P_{1r_1}^1 + P_{2r_2}^1(1 - P_{1r_1}^1) + \\ &+ P_{3r_3}^1(1 - P_{1r_1}^1)(1 - P_{2r_2}^1) + \dots = P_{r_y}^1, \\ &\dots \\ &P_{1r_1}^i + P_{2r_2}^i(1 - P_{1r_1}^i) + \\ &+ P_{3r_3}^i(1 - P_{1r_1}^i)(1 - P_{2r_2}^i) + \dots = P_{r_y}^i, \quad (2) \\ &\dots \\ &P_{1r_1}^N + P_{2r_2}^N(1 - P_{1r_1}^N) + \\ &+ P_{3r_3}^N(1 - P_{1r_1}^N)(1 - P_{2r_2}^N) + \dots = P_{r_y}^N. \end{aligned}$$

В ЛВ-теории риска с ГНС события-параметры связаны Л-операциями AND, OR, NOT и имеются циклы. В общем случае получим другие записи уравнений (1) и (2). Событиям-параметрам соответствуют Л-переменные, которые могут быть зависимыми потому, что они содержатся в Л-формуле, которая и определяет зависимость между ними. События-градации для каждого параметра являются зависимыми и образуют ГНС [2—4].

2. ВЕРОЯТНОСТИ В ГРУППАХ НЕСОВМЕСТНЫХ СОБЫТИЙ

Запишем для объекта таблицы в общем виде Л-функцию риска и В-функцию риска

$$\begin{aligned} Y &= Y(Z_1, Z_2, \dots, Z_n); \\ P_i\{Y_i = 0 | Z(i)\} &= P(P_1, \dots, P_j, \dots, P_n), \quad i = 1, 2, \dots, N, \end{aligned}$$

где $Y = 0$ — неуспех, $Y = 1$ — успех.

Для события-градации в ГНС рассматривают три вероятности (рис. 1): P_{2jr} — частотная вероятность градации r в j -ГНС по статистике; P_{1jr} — нормированная вероятность неуспеха объекта от градации r (сумма вероятностей в ГНС равна 1); P_{jr} — вероятность неуспеха от градации r , подставляемая в В-функцию риска вместо P_j для собы-

тия-параметра j . Определим эти вероятности для j -й ГНС:

$$P2_{jr} = P\{Z_{jr} = r\}; \quad \sum_{r=1}^{N_j} P2_{jr} = 1; \quad r = 1, 2, \dots, N_j;$$

$$P1_{jr} = P\{Y = 0 | Z_{jr} = r\}; \quad \sum_{r=1}^{N_j} P1_{jr} = 1; \quad (3)$$

$$r = 1, 2, \dots, N_j;$$

$$P_{jr} = P\{Y = 0 | Z_{jr} = r\}; \quad r = 1, 2, \dots, N_j, \quad (4)$$

где n — число признаков, N_j — число градаций в j -признаке (или обозначение множества).

Средние значения вероятностей $P2_{jr}$, $P1_{jr}$ и P_{jr} для градаций в ГНС:

$$P2_{jm} = 1/N_j; \quad P_{jm} = \sum_{r=1}^{N_j} P_{jr} P2_{jr};$$

$$P1_{jm} = \sum_{r=1}^{N_j} P1_{jr} P2_{jr}. \quad (5)$$

Вероятности P_{jr} будем оценивать при алгоритмической итеративной идентификации В-модели риска по статистическим данным. Вначале нужно определить вероятности $P1_{jr}$, удовлетворяющие выражению (3), и перейти от вероятностей $P1_{jr}$ к вероятностям P_{jr} . Число независимых вероятностей

$$N_{ind} = \sum_{j=1}^n N_j - n.$$

Вероятности P_{jr} , $P1_{jr}$, $P1_{jm}$ и P_{jm} , вычисляемые по соотношениям (3)–(5), связаны по формуле Байеса для случая ограниченного количества информации [2–4]:

$$P_{jr} = \frac{P1_{jr} P_{jm}}{P1_{jm}}; \quad r = 1, 2, \dots, N_j; \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

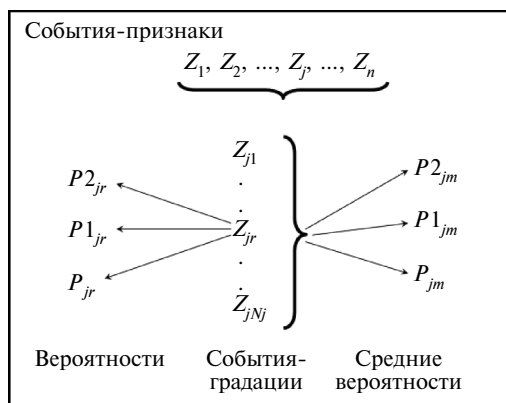


Рис. 1. Вероятности в группе несовместных событий

3. ЛОГИЧЕСКИЕ И ВЕРОЯТНОСТНЫЕ УРАВНЕНИЯ БАЗЫ ЗНАНИЙ

Объект-событие в табл. 3, описываемый Л-переменными $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$, определяется следующей Л-функцией (конъюнкцией) [2, 3]:

$$Y_1 = Z_1 \wedge Z_2 \wedge \dots \wedge Z_j \wedge \dots \wedge Z_n. \quad (6)$$

Неуспех объекта-события определяется следующей Л-функцией:

$$Y_2 = Z_1 \vee Z_2 \vee Z_3 \vee \dots \vee Z_n. \quad (7)$$

Вместо Л-переменных $Z_1, Z_2, \dots, Z_n$ в Л-выражения (6) и (7) следует подставить Л-переменные для градаций этих переменных. Из Л-функций (6) и (7) получают В-полиномы. В-функция (полином) для Л-функции (6):

$$P\{Y_1 = 1\} = q_1 q_2 q_3 \dots q_n.$$

Для перехода от Л-функции (7) к В-функции нужно в общем случае (когда Л-функция представляет собой сложное выражение) выполнить ее ортогонализацию:

$$Y_2 = Z_1 \vee Z_2 \bar{Z}_1 \vee Z_3 \bar{Z}_1 \bar{Z}_2 \vee \dots$$

Тогда В-полином запишется в виде

$$P\{Y = 0\} = p_1 + p_2(1 - p_1) + p_3(1 - p_2)(1 - p_1) + \dots \quad (8)$$

Приведенные Л-функции просты (последовательное соединение для успеха и параллельное для неуспеха), и вместо вида (8) часто используют другое выражение для В-полинома:

$$P\{Y = 1\} = 1 - q_1 q_2 \times \dots \times q_n. \quad (9)$$

Арифметика В-модели риска такова, что риск по формулам (8) и (9) находится в интервале $\{0, 1\}$ при любых значениях вероятностей иницирующих событий.

В соответствии с табл. 3 строятся системы (1) и (2) из N уравнений. Наибольшее число возможных разных объектов (логических уравнений) равно

$$N_{\max} = N_1 N_2 \times \dots \times N_j \times \dots \times N_n,$$

где $N_1, \dots, N_j, \dots, N_n$ — число градаций в событиях-параметрах. Если число параметров $n = 20$ и каждый из них имеет $N_j = 5$ градаций, то число возможных разных объектов равно астрономическому числу $N_{\max} = 5^{20}$, что объясняет вычислительные трудности задач риска.

Таблица 4

Типы ЛВ-моделей риска с ГНС

Типы ЛВ-моделей риска	Содержание
С полным числом событий	Л-функция риска в совершенной дизъюнктивной нормальной форме
Сограниченным числом событий	Л-функция риска в виде: кратчайших путей успеха, минимальных сечений неуспеха и ограниченно-го (сценарием) числа событий
Динамические	С изменяющимися вероятностями событий и временем — параметром (в техническом анализе)
Комбинированные	С логическим объединением связями OR, AND и NOT отдельных сценариев и Л-функций риска

Запишем Л-функцию для всех объектов в табл. 3

$$Y = Y_1 \vee Y_2 \vee \dots \vee Y_j \vee \dots \vee Y_N, \quad (10)$$

где каждый объект определяется Л-функцией (6) со всеми Л-переменными. В табл. 3 каждая Л-переменная в выражении (6) принимает разные значения по числу градаций, на которые она разбита. Л-функции для двух разных объектов, например,

$$Y_i = Z_1 \wedge Z_2 \wedge \dots \wedge Z_{jr} \wedge \dots \wedge Z_n, \\ Y_k = Z_1 \wedge Z_2 \wedge \dots \wedge Z_{jr+1} \wedge \dots \wedge Z_n,$$

ортогональны $Y_i \wedge Y_k = 0$, так как $Z_{jr} \wedge Z_{jr+1} = 0$, ибо Z_{jr} и Z_{jr+1} принадлежат одной ГНС.

Свойство ортогональности Л-слагаемых Л-функции риска (10) позволяет перейти от Л-функций к алгебраическим выражениям для вероятностей, т. е. Л-переменные заменить на вероятности и знаки « $\vee$ » на знаки « $+$ ».

Исходя из изложенного и обобщений по разным приложениям [2–7], используются следующие типы ЛВ-моделей риска с ГНС (табл. 4).

5. ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЛВ-МОДЕЛИ РИСКА С ГРУППАМИ НЕСОВМЕСТНЫХ СОБЫТИЙ ПО СТАТИСТИЧЕСКИМ ДАННЫМ

Задача идентификации В-модели риска по статистическим данным — обратная оптимизационная задача и является основной и сложной в исследованиях проблем риска [2, 3]. Для ее решения систему логических уравнений (1) заменяют на систему алгебраических уравнений (В-полиномов) (2). Вероятности в левой части системы уравнений

неизвестны. Задачу идентификации решают алгоритмическими итеративными методами.

Предложена следующая схема решения задачи. Пусть известны в первом приближении вероятности для градаций P_{jr} , $i = 1, 2, \dots, N_j$; $j = 1, 2, \dots, n$ и вычислены риски P_i , $i = 1, \dots, N$, для объектов в статистике из N_g «хороших» и N_b «плохих» объектов. Определим допустимый риск P_{ad} так (рис. 2), чтобы принятое расчетное число «хороших» объектов N_{gc} имело риск меньше P_{ad} и число «плохих» объектов $N_{bc} = N - N_{gc}$ имело риск больше P_{ad} . На шаге оптимизации изменим вероятности P_{jr} , $r = 1, 2, \dots, N_j$; $j = 1, 2, \dots, n$, так, чтобы число корректно распознаваемых объектов увеличилось. Переменные P_{ad} и N_{gc} связаны однозначно. В алгоритме удобнее задавать N_{gc} и определять P_{ad} .

Условие $P_i \geq P_{ad}$ выделяет следующие типы объектов: N_{gg} — «хорошие» по модели и статистике; N_{gb} — «хорошие» по модели и «плохие» по статистике; N_{bg} — «плохие» по модели и «хорошие» по статистике; N_{bb} — «плохие» по модели и статистике. Риски объектов N_{gg} , N_{gb} , N_{bg} и N_{bb} перемещаются относительно P_{ad} при изменении P_{jr} . При переходе одних объектов вправо от P_{ad} (см. рис. 2) такое же число объектов переходит влево. Оптимально такое изменение P_{jr} , которое переводит объекты N_{gb} и N_{bg} через точку P_{ad} навстречу друг другу.

Задача идентификации В-модели риска сформулирована следующим образом [2, 3].

Заданы: статистика по объектам, имеющая N_g «хороших» и N_b «плохих» объектов, и В-модель риска типа (8).

Требуется определить: вероятности P_{jr} , $j = 1, 2, \dots, n$; $r = 1, 2, \dots, N_j$, событий-градаций и допустимый риск P_{ad} , разделяющий объекты на «хорошие» и «плохие».

Критерий оптимизации: максимизация числа корректно классифицируемых объектов:

$$F = N_{bb} + N_{gg} \rightarrow \max_{P_{jr}}. \quad (11)$$

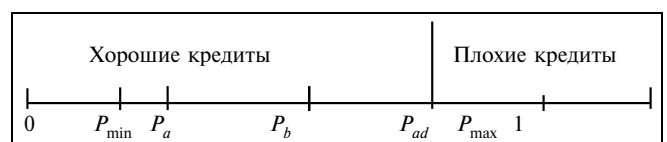


Рис. 2. Схема классификации объектов



Важно, что, в отличие от скоринговых методик, используется прямой прозрачный целочисленный критерий оптимизации.

Из выражения (11) следует, что точность В-модели риска в классификации «хороших» E_g и «плохих» объектов E_b и в целом E_m определяется как

$$E_g = N_{gb}/N_g; \quad E_b = N_{bg}/N_b; \quad E_m = (N - F)/N. \quad (12)$$

Ограничения:

— вероятности P_{jr} должны удовлетворять условию

$$0 < P_{jr} < 1, \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad r = 1, 2, \dots, N_j;$$

— средние риски объектов по В-модели риска и статистике должны быть равны; при обучении В-модели риска будем корректировать вероятности P_{jr} на шаге итеративного процесса идентификации по формуле

$$P_{jr} = P_{jr}(P_{av}/P_m); \quad j = 1, 2, \dots, n; \quad r = 1, 2, \dots, N_j,$$

где $P_{av} = N_b/N$ — средний риск по статистике, P_m — средний риск по модели;

— допустимый риск P_{ad} определяется при заданном коэффициенте асимметрии распознавания «хороших» и «плохих» объектов, равном

$$E_{gb} = N_{gb}/N_{bg};$$

потери неэквивалентны при ошибочном распознавании «хорошего» и «плохого» объектов.

Формула для итеративной алгоритмической идентификации ЛВ-модели риска

$$\Delta P_{1jr} = K_1 \frac{N_{opt} - N_v}{N_{opt}} K_3 P_{1jr}, \quad (13)$$

$$j = 1, 2, \dots, n; \quad r = 1, 2, \dots, N_j,$$

где $K_1 \sim 0,05$; N_{opt} и N_v — число оптимизаций и номер текущей оптимизации, K_3 — случайное число в интервале $[-1, +1]$. При итеративной алгоритмической оптимизации величина ΔP_{1jr} стремится к нулю. Формула (13) обеспечивает простое задание максимальных приращений вероятностей, сходимость оптимизации и определение точности оценки вероятностей по их приращениям на последней оптимизации. Риск нового объекта оценивают на В-модели риска при известных вероятностях P_{jr} .

Алгоритмический итеративный метод идентификации ЛВ-модели риска с ГНС позволяет извлекать из БЗ или системы Л-уравнений новые знания (вероятности и вклады событий-граций, допустимый риск, асимметрию распознавания и др.) при любой сложности ЛВ-функции риска и большом числе объектов в статистике.

Идентификация ЛВ-модели риска с ГНС по статистическим данным отличается высокой вычислительной сложностью и необходимы специально разработанные программные средства [2, 3].

5. АНАЛИЗ РИСКА

Пусть В-модель риска идентифицирована по статистическим данным и известны вероятности P_{jr} . Определим вклады событий-параметров и событий-граций в риск объекта, средний риск множества объектов и в точность ЛВ-модели риска. Для этого вычислим разности между значениями названных характеристик после идентификации и при условии придания вероятностям событий-признаков нулевых значений [2, 3].

Вклад признака (всех граций признака) в риск объекта i

$$\Delta P_j = P(i) - P(i)|_{P_j=0}, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (14)$$

Вклад признака в средний риск P_m множества объектов

$$\Delta P_{jm} = P_{jm} - P_{jm}|_{P_j=0}, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (15)$$

Вклад признака в целевую функцию $F_{\max}$

$$\Delta F_j = F_{\max} - F|_{P_j=0}, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (16)$$

Вычисление вкладов граций ΔP_{jrm} и ΔF_{jr} по предложенной схеме было бы некорректно, ибо не ясно, как корректировать частоты других граций P_{2jr} в ГНС, если одной из них придается нулевое значение. Поэтому вместо вкладов ΔF_{jr} будем вычислять ошибки классификации объектов по каждому событию-грации:

$$E_{jrg} = (N_{jrg} - N_{jrgg})/N_{jrg}; \quad E_{jrb} = (N_{jrb} - N_{jrbb})/N_{jrb}; \\ E_{jrm} = (N_{jr} - N_{jrgg} - N_{jrbb})/N_{jr}, \quad (17)$$

где N_{jrg} , N_{jrb} и N_{jr} — соответственно числа «хороших», «плохих» и всех объектов с грацией; N_{jrgg} и N_{jrbb} — число «хороших» и число «плохих» объектов с корректной классификацией.

6. УПРАВЛЕНИЕ РИСКОМ

Из системы Л-уравнений и соответствующей системы В-полиномов получают методом алгоритмической итеративной идентификации новые знания: вероятности P_{jr} , $j = 1, 2, \dots, n$; $r = 1, 2, \dots, N_j$; вклады событий-граций Z_{jr} , $j = 1, 2, \dots, n$; $r = 1, 2, \dots, N_j$ в риск каждого объекта, всего мно-

жества объектов и точность ЛВ-модели риска (14)—(17); допустимый риск P_{ad} .

Атрибуты риска события-градации: вероятность успеха для объекта, относительная вероятность успеха среди градаций события-параметра, вероятность-частота в множестве объектов, вклад в точность модели.

Атрибуты риска события-параметра: вероятность успеха для объекта, структурный вес и значимость в модели риска, вклад в средний риск множества объектов.

Атрибуты риска объекта: риск успеха, возможные потери, цена за риск, вклад в риск множества объектов.

Атрибуты риска множества объектов: допустимый риск, средний риск, средние потери, допустимые потери, асимметрия распознавания хороших и плохих объектов, число объектов, число опасных объектов, энтропия рисков.

В ЛВ-теории риска с ГНС используется активное управление риском и эффективностью, исходя из атрибутов риска объектов, объекта, параметров объекта и градаций параметров. Управлять — значит знать, что и насколько изменить для достижения допустимого риска или эффективности. Управляют принятием очевидного решения.

Кредитным риском управляют, исходя из количественных значений описанных атрибутов. Цель управления состоит в снижении финансовых потерь банка и повышении точности распознавания плохих и хороших кредитов. Параметры управления риском кредита и кредитной деятельностью банка — риск кредита, который сравнивают с допустимым риском и принимают решение о выдаче кредита; коэффициент асимметрии распознавания хороших и плохих кредитов; цена за кредит, зависящая от риска кредита и допустимого риска; число параметров, описывающих кредит; число градаций для каждого параметра; ширина интервалов при выделении градаций для таких параметров, как сумма и срок кредита, возраст клиента и др.

В работах [2—4] приведены результаты идентификации ЛВ-модели кредитных рисков по реальным статистическим данным банка. Имелось $N = 1000$ кредитов, из которых 700 было «хороших» и 300 «плохих». Оценивались 94 вероятности P_{jr} и допустимый риск P_{ad} . ЛВ-модель кредитного риска с ГНС показала в два раза большую точность и в семь раз большую робастность, чем известные методики, а также абсолютную прозрачность в распознавании плохих и хороших кредитов.

Логико-вероятностную модель кредитного риска используют для оценки риска новых кредитов по выражению (8), в которое для конкретного кредита подставляют вероятности событий-градаций

параметров. Вклады в риск кредита пропорциональны значениям этих вероятностей. По значению риска кредита устанавливают, «хороший» это или «плохой» кредит, какие градации и насколько влияют на это. Такую модель используют также для управления кредитной деятельностью банка. Приведем примеры.

Пример 1. Выполним оценку одного кредита по данным анкеты на его получение с помощью программного комплекса для лабораторных работ. Кредиты описываются следующими параметрами: Z_1 — сумма счета в банке (4 градации), Z_2 — срок займа (10 гр.), Z_3 — кредитная история о возвращении займов (5 гр.), Z_4 — назначение займа (11 гр.), Z_5 — сумма займа (10 гр.), Z_6 — счета по ценным бумагам (5 гр.), Z_7 — продолжительность работы (5 гр.), Z_8 — взнос в частичное погашение (4 гр.), Z_9 — семейное положение и пол (4 гр.), Z_{10} — совместные обязательства или поручитель (3 гр.), Z_{11} — время проживания в данной местности (4 гр.), Z_{12} — вид гарантии (4 гр.), Z_{13} — возраст (5 гр.), Z_{14} — наличие других займов (3 гр.), Z_{15} — наличие жилой площади (3 гр.), Z_{16} — число зай-

Таблица 5

Параметры кредита

Параметр	Градация	Вероятность P_{jr}
1	4	0,004997
2	3	0,036728
3	2	0,035466
4	7	0,047464
5	7	0,012243
6	4	0,002746
7	3	0,019102
8	2	0,012360
9	2	0,016730
10	1	0,038348
11	2	0,021220
12	2	0,020309
13	2	0,020840
14	1	0,020590
15	1	0,024678
16	3	0,017928
17	4	0,021060
18	1	0,017080
19	2	0,016327
20	1	0,018892



мов с банком, включая новый заем (4 гр.), Z_{17} — профессия (4 гр.), Z_{18} — число родственников на иждивении (2 гр.), Z_{19} — наличие телефона (2 гр.), Z_{20} — иностранный или местный житель (2 гр.).

Конкретный кредит имел параметры, представленные в табл. 5. Вероятности P_{jr} получены решением задачи идентификации по статистическим данным банка. Кредит получил следующие оценки: риск равен 0,350070 и больше допустимого риска $P_{ad} = 0,306274$; кредит плохой, но его можно дать под 18 % (вместо 10 % при P_{ad}). Риск кредита получен по формуле (8). Вклады признаков и градаций в риск кредита пропорциональны значениям P_{jr} .

Пример 2. *Оптимальное число параметров для описания кредита* [2]. Для каждого параметра j после обучения модели риска определялись: средние значения вероятностей P_{1jm} и P_{jm} (5), а также уменьшение числа корректно распознанных хороших и плохих кредитов при исключении этого параметра из модели риска (16). Модель после этого переобучалась. Наибольший вклад в точность распознавания кредитов вносят события-параметры $Z_1, Z_2, Z_3, Z_4, Z_5, Z_6, Z_{13}$. Нулевой вклад вносят события-параметры $Z_{11}, Z_{12}, Z_{17}, Z_{18}, Z_{19}$. Их можно исключить из описания кредита.

Пример 3. *Оптимальное число событий-градаций N_j в параметре.* Зависимость точности ЛВ-модели риска от числа градаций в параметре исследовалась для срока кредита, который в исходном варианте имеет 10 градаций. После переобучения модели риска получены следующие результаты: при отсутствии параметра $F_{\max} = 800$; при двух градациях в параметре $F_{\max} = 812$; при четырех градациях — $F_{\max} = 816$; при десяти градациях — $F_{\max} = 824$; при ста градациях — $F_{\max} = 828$. Для каждого параметра кредита для каждого банка имеется оптимальное число градаций.

7. ПРИЛОЖЕНИЯ ЛВ-МОДЕЛЕЙ РИСКА С ГРУППАМИ НЕСОВМЕСТИМЫХ СОБЫТИЙ

Объектами исследования были структурно-сложные, многокомпонентные и многоуровневые системы: технические, банковские, экономические и организационные [5]. Дадим краткое описание приложений ЛВ-моделей риска с ГНС: кредитные риски, инвестирование, эффективность, менеджмент, взятки и управление развитием [2–4].

Кредитные риски. Использовались статистические данные одного западного и двух российских банков [2–4]. В статистиках было от 500 до

1000 кредитов. Логико-вероятностные модели риска показали в два раза большую точность в распознавании хороших и плохих кредитов; в семь раз большую устойчивость в классификации кредитов, абсолютную прозрачность в оценке и анализе риска и модели риска. Для западного банка кредитный риск уменьшался с 28 до 17 %. Для российских банков кредитный риск уменьшался примерно вдвое.

Инвестирование. Разработана ЛВ-модель риска инвестиций в портфель ценных бумаг. В этой модели, в отличие от теорий Марковица и Value-at-Risk (VaR) (стоимость под риском), не используется допущение о нормальности законов распределения доходности ценных бумаг и всего портфеля. Используется переход от табличной БД по доходностям акций портфеля к БЗ в виде системы Л-уравнений. Для этого диапазон изменения доходности каждой акции и портфеля разбивается на интервалы (события-градации). Наряду с допустимой доходностью портфеля Y_{ad} и риском портфеля $Risk$, вводятся понятия числа опасных состояний N_{ad} и энтропии H_{ad} рисков опасных состояний в «хвосте» распределения доходности портфеля. Это позволяет анализировать риск и эффективность (доходность) портфеля и управлять ими [2, 3].

Эффективность. Разработана ЛВ-модель риска эффективности социальных процессов, в которой оцениваются весомости инициирующих случайных процессов для итогового случайного процесса параметра эффективности. Используется переход от статистической БД значений влияющих параметров и итогового параметра эффективности к БЗ в виде системы Л-уравнений. Для этого диапазоны изменения влияющих и итогового параметров разбиваются на интервалы (события-градации). Для параметра эффективности вводятся понятия допустимого значения Y_{ad} , риска $Risk$, числа опасных состояний N_{ad} и энтропии H_{ad} рисков опасных состояний в «хвосте» распределения параметра эффективности. Это позволяет анализировать риск и эффективность и управлять ими. В отличие от работ лауреата Нобелевской премии Джеймса Хекмана, задача решается при произвольных распределениях влияющих параметров и параметра эффективности [2, 3].

Менеджмент. Разработаны ЛВ-модели риска неуспеха менеджмента компании по функциям, по направлениям деятельности, по управлению компанией как сложным объектом, по достижению одной и группы целей, по качеству функционирования. В рассмотренных моделях статистические данные не используются и не осуществляется переход от БД к БЗ. Демонстрируются построение и

Особенности ЛВ-теории риска с ГНС

Особенности	Содержание
Объекты исследования	Структурно-сложные, многокомпонентные и многоуровневые системы: банковские, экономические и организационные
ЛВ-модели риска с ГНС	С полным числом событий, с ограниченным числом событий, комплексные модели риска, динамические модели риска
Области применения	Проблемы классификации, инвестирования, эффективности, менеджмента, взяток и коррупции, управления развитием
Решаемые задачи	Количественная оценка и анализ риска объекта и множества объектов, управление риском, управление риском и доходностью портфеля, моделирование риска неуспеха менеджмента, выявление взяток
Методические основы ЛВ-теории риска с ГНС	Логика, теории множеств и вероятностей, комбинаторика, дискретная математика, ЛВ-исчисление с логическими связями элементов OR, AND, NOT и циклами
Переход от базы данных к базе знаний	Вводят ГНС или конечные множества и преобразуют статистическую БД в БЗ в виде системы Л-уравнений, что позволяет использовать ЛВ-исчисление и решать задачи риска, эффективности и управления
Определение риска	Вводится допустимый риск, разделяющий объекты на «плохие» и «хорошие». Риск каждого уровня определяется своими атрибутами
Критерии качества Л-модели риска	Точность (ошибки классификации), робастность, прозрачность результатов и анализа риска и модели риска
Распределения переменных	Дискретные табличные распределения случайных переменных
Связанность и зависимость переменных	Л-переменные зависимы, но не изначально, а только потому, что они содержатся в определенной Л-формуле, определяющей зависимость между ними. События-градации для каждого параметра зависимы и рассматриваются как ГНС
Тип вычислений	Алгоритмические интерактивные методы. Обратная оптимизационная задача решается независимо от числа объектов в БД, числа параметров в объекте, и числа градаций в каждом параметре, Л-сложности модели риска
Построение модели риска	Сценарий, граф-модель риска, Л-функция риска, ортогональная Л-функция, В-функция риска, идентификация В-функции риска
Идентификация ЛВ-модели риска	Идентификация В-модели риска по статистическим данным выполняется путем решения задачи оптимизации алгоритмическими итеративными методами, использующими формулу Байеса
Логические разности	На каждом шаге оптимизации нужно определить приращение каждой вероятности. При этом следует нормировать вероятности в ГНС, т. е. их сумма должна равняться 1
Анализ риска	Вычисляют вклады в риск объекта, множества объектов и целевую функцию событий-параметров и событий-градаций. Эти вклады — атрибуты риска — и позволяют управлять риском и эффективностью
Управление риском	Активное управление риском по вкладам событий-признаков и событий-градаций в риск и эффективность
Программные средства	Специальные программные обеспечения для идентификации В-модели риска, выбора портфеля ценных бумаг, структурно-логического моделирования



использование комплексных ЛВ-моделей риска, построенных из частных моделей. На необходимость разработки моделей риска для управления менеджментом указывал в своих работах выдающийся американский экономист Питер Друкер [2].

Взятки. Разработаны следующие ЛВ-модели риска взятка: учреждения по параметрам его функционирования; чиновника по параметрам его поведения; учреждения и чиновника по параметрам обслуживания; Л-сложения первых перечисленных моделей. Приведены примеры этих ЛВ-моделей риска взяток, в том числе по выявлению риска взяток по реальным данным приема в детский садик. Параметром обслуживания было принято время ожидания ребенка в очереди. Для построения названных ЛВ-моделей риска применяется переход от табличных статистических БД к БЗ в виде системы Л-уравнений. Данные модели предназначены для департамента «Экономические преступления» города, служб внутренней безопасности компаний и банков и для разработки стандартов на параметры обслуживания [6].

Управление развитием организационных и экономических систем, сложных машин и технологий осуществляется по критериям риска и эффективности. Процесс развития рассматривается как процесс управления сложным объектом с движением к заданному конечному состоянию из начального по выбранной траектории и с коррекцией в случае отклонения от нее. Приведены примеры построения сценариев и моделей риска, программ развития. Анализ процессов доводочных испытаний многих машин и систем показал, что КПД процесса доводки (отношение времени испытаний к календарному времени) равен 5–12 %. Предложенная технология управления процессом развития существенно повышает его эффективность [7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе изложенного и результатов работ [2–7] в табл. 6 в качестве обобщения сформулированы особенности ЛВ-теории риска с ГНС. Именно эти особенности определяют достоинства и области приложений.

Отметим также, что исследование проблем риска в экономике, технике и экологии, государственной и национальной безопасности невозможно без построения сценариев, логических и вероятност-

ных моделей риска, количественного моделирования и анализа риска и эффективности, обеспечивающих возможность управления.

Развитие работ и исследований по ЛВ-теории риска для целей управления риском и эффективностью, по нашему мнению, должно заключаться в следующем:

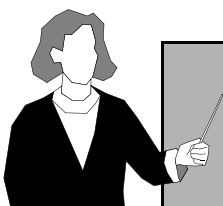
- разработка ЛВ-моделей риска с ГНС для других приложений;
- разработка учебного курса по ЛВ-теории риска с ГНС;
- совершенствование методик и алгоритмов вычислений, а также программных средств для ЛВ-моделирования и управления риском и эффективностью;
- экспертиза и сертификация ЛВ-моделей риска и программных средств.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рябинин И.А. Надежность и безопасность структурно-сложных систем. — СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2007. — 276 с.
2. Соложенцев Е.Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. 2-е изд. — СПб.: Бизнес-пресса, 2006. — 560 с.
3. Solojentsev E.D. Scenario Logic and Probabilistic Management of Risk in Business and Engineering. — Springer, 2004. — 391 p.
4. Соложенцев Е.Д., Степанова Н.В., Карасев В.В. Прозрачность методик оценки кредитных рисков и рейтингов. — СПб.: Изд-во СПб. ун-та, 2005. — 197 с.
5. Соложенцев Е.Д., Махутов Н.А. Логико-вероятностные модели риска в многокомпонентных системах с группами несовместных событий для задач классификации, инвестирования, эффективности и менеджмента // Проблемы безопасности и чрезвычайных ситуаций. — 2006. — № 3. — С. 30–52.
6. Соложенцев Е.Д. Сценарные логико-вероятностные модели риска взятка // Финансы и бизнес. — 2007. — № 1. — С. 125–138.
7. Махутов Н.А., Соложенцев Е.Д. Управление риском при испытаниях сложных машин, систем и технологий // Проблемы машиностроения и автоматизации. — 2008. — № 1.

☎ (812) 321-47-66, 📠 (812) 321-47-71,
e-mail: risk@sapr.ipme.ru, safety@imash.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии Б.Г. Воликом. □



Читайте в следующем номере статью

Пономаренко В.С., Листрового С.В. Метод решения задачи о минимальном покрытии как средство планирования в GRID

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПО СТЕПЕНИ УСТОЙЧИВОСТИ РЕШЕНИЙ ПРИ ПРОПОРЦИОНАЛЬНО-ИНТЕГРАЛЬНОМ УПРАВЛЕНИИ

А.М. Шубладзе⁽¹⁾, В.Е. Попадько⁽²⁾, С.И. Кузнецов⁽³⁾, А.А. Якушева⁽²⁾

⁽¹⁾ *Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, г. Москва;*

⁽²⁾ *Российский государственный университет нефти и газа им. И.М. Губкина, г. Москва;*

⁽³⁾ *ОАО «НИИТеплоприбор», г. Москва*

Исследованы оптимальные по степени устойчивости решения при ПИ-управлении динамическими системами, характеризующимися передаточными функциями с полиномом нулевой степени в числителе. Показано, что существует семь случаев достижения в системах управления максимальной степени устойчивости. Для каждого из этих случаев сформулированы достаточные условия оптимальности. Построены годографы замкнутых систем управления, для которых выполняются либо только необходимые условия оптимальности, либо достаточные. Вид построенных годографов оптимальных систем наглядно отражает геометрический смысл полученных решений.

ВВЕДЕНИЕ

Работа продолжает цикл статей, связанных с исследованием систем управления максимальной степени устойчивости. Синтезированные по этому критерию системы управления отличаются от других систем сравнительно высоким быстродействием и грубостью, робастностью к изменениям параметров объекта управления, так как наиболее «медленные», крайние правые корни характеристических полиномов таких систем максимально удалены от мнимой оси.

Один из возможных способов синтеза систем максимальной степени устойчивости основан на применении метода D -разбиения, предложенного Ю.И. Неймарком [1, 2] и развитого в работах Б.Т. Поляка, П.С. Щербакова, Е.Н. Грязиной [3, 4] и др. В случае ПИ-закона управления объектом с полиномом нулевой степени в числителе его передаточной функции указанный метод позволяет с помощью итерационных процедур сравнительно просто определить значение максимальной степени устойчивости и соответствующие ей настроечные параметры регулятора.

Однако во многих случаях бывает полезным иметь не только указанную информацию, но и значения крайних правых корней характеристического полинома замкнутой системы, действительные части которых и определяют значение максимальной степени устойчивости. Необходимость в знании этих корней может возникнуть, например, когда возникает задача построения быстродействующих следящих ПИ-систем управления. Введя на вход следящей системы динамический фильтр, полином числителя передаточной функции которого совпадает с полиномом, составленным из известных крайних правых корней характеристического полинома замкнутой системы, будем иметь реакцию на изменяющееся входное воздействие, определяемую только «быстрыми» корнями полинома, расположенными левее значения степени устойчивости.

Получить информацию как о значении максимальной степени устойчивости и настроечных оптимальных коэффициентов ПИ-регулятора, так и об оптимальных корнях можно, используя годограф Михайлова и итерационную процедуру сдвига мнимой оси в левую полуплоскость корней до тех пор, пока годограф Михайлова не будет соответс-



твовать системе, находящейся на границе устойчивости, и никакими вариациями настроечных параметров регулятора систему нельзя сделать устойчивой. Как следует из работ [5, 6], при ПИ-управлении динамическим объектом в оптимальном по степени устойчивости случае крайними правыми корнями характеристического полинома системы могут быть не меньше трех и не больше шести корней.

В настоящей работе выполнено исследование каждого из возможных случаев распределения корней и представлены достаточные условия их оптимальности. Таких случаев семь. Отличаются они числом действительных и комплексно сопряженных пар крайних правых корней характеристических полиномов и видом частотного годографа Михайлова характеристического полинома в комплексной плоскости, мнимая ось которой проходит через эти крайние правые корни.

Полученные оптимальные решения будут сформулированы в виде условий на коэффициенты оптимального полинома, определители Гурвица этого полинома и поведение годографа в окрестности точек пересечения им начала координат.

Задача исследования систем максимальной степени устойчивости будет решаться для ПИ-управления, при котором связь между выходным сигналом объекта и управляющим сигналом определяется дифференциальным уравнением

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

где $x^{(i)}(t)$, $i = 0, \dots, n$, $n \geq 3$ — фазовые координаты, a_i и k_0 — параметры, $u(t)$ — ПИ-управление:

$$u(t) = u_{\text{ПИ}}(t) = k_{\text{П}} \varepsilon(t) + k_{\text{И}} \int_0^t \varepsilon(\tau) d\tau, \quad (2)$$

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

Оптимизируемыми являются параметры $k_{\text{П}}$ и $k_{\text{И}}$. Указанные параметры выбираются так, чтобы имела место максимальная степень устойчивости [6]

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

где λ_j — корни характеристического полинома

$$D_{n+1}(\lambda) = \lambda^{n+1} + \sum_{i=1}^n a_i \lambda^i + k_0(k_{\text{П}} \lambda + k_{\text{И}}). \quad (4)$$

После замены λ на $\lambda_1 - I_{\text{оп}}$ при $k_{\text{П}} = k_{\text{Поп}}$ и $k_{\text{И}} = k_{\text{Иоп}}$ в выражении (4) характеристический полином принимает вид [6]:

$$\begin{aligned} & D_{1(n+1)}(\lambda_1, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) = \\ & = \lambda_1^{n_g} \prod_{i=1}^{n_{k1}} (\lambda_1^2 + \omega_i^2)^{\gamma_i} D_{1[(n+1)-n_g-2n_k]}(\lambda_1) = \\ & = \lambda_1^{n+1} + \sum_{i=3}^n a_i^* \lambda_1^{i-1} + \sum_{i=1}^2 a_i^*(k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) \lambda_1^{i-1}, \quad (5) \end{aligned}$$

где

$$a_i^* = \frac{1}{(i-1)!} \frac{\partial^{i-1} D_{(n+1)}(\lambda, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}})}{\partial \lambda^{i-1}} \quad \text{при } \lambda = -I_{\text{оп}}, \quad (6)$$

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

$$n_k = \sum_{i=1}^{n_{k1}} \gamma_i.$$

Рассматриваемую задачу исследования оптимальных решений будем решать на основе результатов, полученных в работах [6, 7], с помощью машинных методов оценивания устойчивости систем управления. При этом нам понадобится следующий модифицированный годограф Михайлова из работы [6] характеристического полинома (5), в котором $\lambda_1 = i\omega$, $i^2 = -1$:

$$\begin{aligned} Z_{n0}(i\omega) &= \operatorname{Re} D_{1(n+1)}(i\omega) + i\omega^{-1} \operatorname{Im} D_{1(n+1)}(i\omega) = \\ &= \operatorname{Re}_0(\omega^2) + i \operatorname{Im}_0(\omega^2). \quad (7) \end{aligned}$$

Как и обычный модифицированный годограф (7) будет соответствовать устойчивому полиному (5) (полиному с корнями в левой полуплоскости), если при увеличении частоты ω от нуля до бесконечности годограф последовательно проходит против часовой стрелки в $n+1$ квадрант.

Как уже отмечалось, при ПИ-управлении в системе (1), (2) может иметь место одно из семи оптимальных решений, при которых крайними корнями характеристического полинома (4) может быть от трех до шести корней, ближайших к мнимой оси и имеющих одинаковое до нее расстояние. Исследуем каждое из них.

1. СЛУЧАЙ 1: ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЕ КОРНИ ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

В этом случае имеют место условия

$$n_g = 3, \quad n_k = 0 \quad (8)$$

при которых крайним правым корнем полиномов (4) и (5) является один действительный корень кратности 3. Согласно работе [4] условия (8) могут выполняться только при

$$\begin{aligned} a_i^*(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) &= 0, \\ \Delta_j^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) &> 0, \end{aligned} \quad (9)$$

где $1 < j < n - 2$, $i = 1, 2, 3$, a_i^* определяются выражением (6), $\Delta_j^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}})$ — определители Гурвица полинома (5). При выполнении условий (9) достаточность условия оптимальности следует из того, что значение крайнего правого корня полинома (5) равно значению крайнего правого корня его второй производной, т. е. $\max \operatorname{Re} \lambda_{1i}(k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) = \max \operatorname{Re} \lambda_{1i,2}$, $i = 1, \dots, n$, где λ_{1i} — корни уравнения $D_{1n}(\lambda_1, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) = 0$, а $\lambda_{1i,2}$ — корни второй производной полинома (5)

$$\frac{\partial^2 D_{1(n+1)}(\lambda_1, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}})}{\partial \lambda_1^2} = 0.$$

Любой выбор значений $k_{\text{Поп}}$ и $k_{\text{Иоп}}$ в управлении (2), не удовлетворяющий условиям (9), приводит к уменьшению степени устойчивости $I_{\text{оп}}$ (3), так как при этом в полиноме (5) $a_3^*(I_{\text{оп}}) = 0$, $a_i^*(I_{\text{оп}}, k_{\text{П}}, k_{\text{И}}) \neq 0$ хотя бы для одного a_i^* , $i = 1, 2$, что и нарушает необходимое условие устойчивости полинома (5).

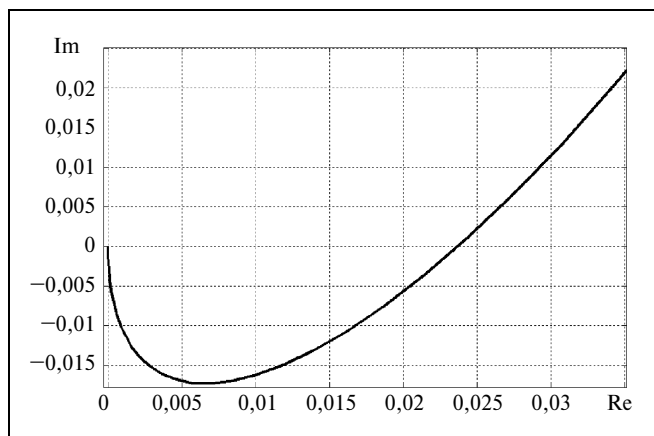


Рис. 1. Годограф оптимальной системы для случая 1

Как следует из выражений (5) и (9), минимальная степень при ω в $\operatorname{Re}_0(\omega^2)$ — см. формулу (7) — равна четырем, а в $\operatorname{Im}_0(\omega^2)$ — двум, поэтому годограф (7) в рассматриваемом случае имеет вид, изображенный на рис. 1.

Он получен для полинома (5), в котором

$$\begin{aligned} D_{1[n+1-n_g-2n_k]}(\lambda_1) &= D_{1[6]}(\lambda_1) = (\lambda_1 + 1)^6, \\ n &= 8, \quad n_g = 3, \quad n_k = 0. \end{aligned}$$

Из рис. 1 следует, что любое изменение значений $k_{\text{Поп}}$ или $k_{\text{Иоп}}$ приводит к появлению корней полинома (5) в правой полуплоскости, т. е. к уменьшению степени устойчивости I системы (1), (2). Таким образом, вычисленные по формулам (6) и (9) значения $k_{\text{Поп}}$ и $k_{\text{Иоп}}$ гарантируют в рассматриваемом случае максимальную степень устойчивости системы (1), (2).

2. СЛУЧАЙ 2: ДВА ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫХ КОРНЯ И ОДНА КОМПЛЕКСНО СОПРЯЖЕННАЯ ПАРА КОРНЕЙ

В этом случае имеют место условия

$$n_g = 2, \quad n_k = 1, \quad \gamma_1 = 1, \quad (10)$$

при которых крайними правыми корнями полиномов (4) и (5) являются один действительный корень кратности 2 и одна комплексно сопряженная пара корней. Согласно работе [6] условия (10) могут выполняться только при

$$\begin{aligned} a_i^*(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) &= 0, \quad \Delta_{n-2}^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}), \\ \Delta_j^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) &> 0, \end{aligned} \quad (11)$$

где $1 < j < n - 3$, a_i^* определяются выражением (6), $i = 1, 2$, $\Delta_j^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}})$ — определители Гурвица размерности $1 < j < n - 2$ полинома (5). Три уравнения, из которых находятся значения $I_{\text{оп}}$, $k_{\text{Поп}}$ и $k_{\text{Иоп}}$, и $(n - 3)$ неравенства (11) являются необходимыми условиями максимальной степени устойчивости системы (1), (2). Подтверждением этому служит годограф (7), изображенный на рис. 2 и полученный решением уравнений (11). Такой годограф не соответствует системе максимальной степени устойчивости, так как перемещением путем вариации параметров $k_{\text{П}}$ и $k_{\text{И}}$ начала координат комплексной плоскости λ_1 в любую точку области A получаем годограф (7), соответствующий устойчивой системе. Поэтому степень устойчивости (3) системы (2) в рассматриваемом случае может быть увеличена.

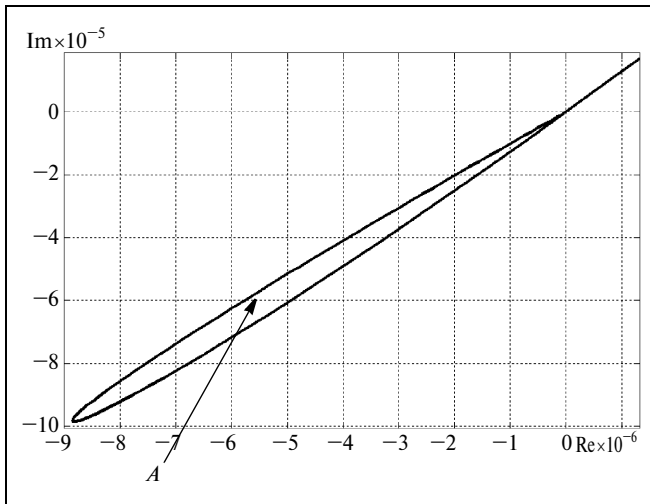


Рис. 2. Годограф не оптимальной системы для случая 2

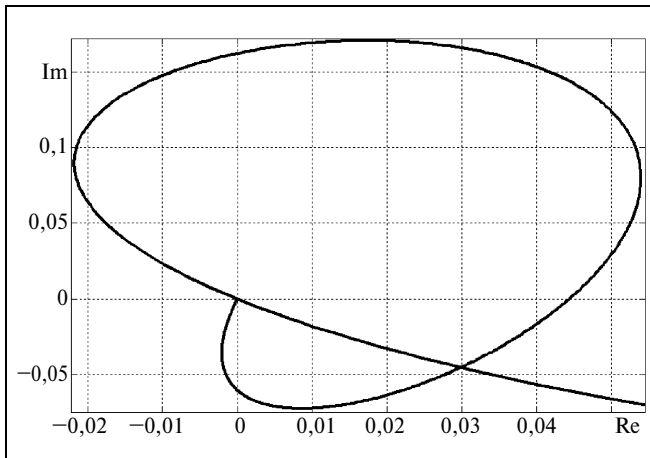


Рис. 3. Годограф оптимальной системы для случая 2

Годограф, представленный на рис. 2, получен для полинома (5), в котором

$$D_{1[n+1-n_g-2n_k]}(\lambda_1) = D_{1[6]}(\lambda_1) = (\lambda_1 + 1)^6, \\ n = 8, \quad n_g = 2, \quad n_k = 1, \quad \gamma_1 = 1, \quad \omega_1 = 0,08.$$

Для получения достаточных условий оптимальности нужно к условиям (11) добавить условие на направления годографа в точках пересечения им начала координат:

$$\langle (\text{Im}_1(0), -\text{Re}_1(0)), (\text{Re}_1(\omega_1^2), \text{Im}_1(\omega_1^2)) \rangle < 0, \quad (12)$$

$$\text{где } \text{Re}_1(\omega^2) = \frac{\partial \text{Re} D_{1(n+1)}(i\omega)}{\partial (\omega^2)},$$

$$\text{Im}_1(\omega^2) = \frac{\partial (\omega^{-1} \text{Im} D_{1(n+1)}(i\omega))}{\partial (\omega^2)}, \quad (\text{Im}_1(0), -\text{Re}_1(0)) —$$

вектор, перпендикулярный направлению годографа $Z_{n0}(i\omega)$ при $\omega = 0$, $(\text{Re}_1(\omega_1^2), \text{Im}_1(\omega_1^2))$ — вектор, перпендикулярный направлению годографа $Z_{n0}(i\omega)$ при $\omega = \omega_1$.

Из рис. 2 следует, что для годографа условие (12) не выполняется.

Покажем, что условия (11) и (12) в рассматриваемом случае являются достаточными условиями оптимальности (3). Как следует из условий (11), на мнимой оси плоскости λ_1 расположены нулевой корень кратности 2 и одна чисто мнимая комплексно сопряженная пара корней, остальные корни лежат левее мнимой оси. Для того, чтобы два нулевых корня изменением значений k_{Π} и $k_{\text{И}}$ сдвинуть влево и чтобы при этом не появилась новая чисто мнимая комплексно сопряженная пара корней, необходимо начало координат плоскости λ_1 поместить в область между частью годографа, проведенного до первого пересечения им мнимой оси, и самой мнимой осью. На рис. 2 это область А, где точкой пересечения является начало координат. Нетрудно заметить, что при выполнении условий (12) годограф $Z_{n0}(i\omega)$ (7) в окрестности частоты $\omega = \omega_1$ не попадает в оговоренную выше область. Поэтому любое перемещение корней влево приводит к сдвигу комплексно сопряженной пары чисто мнимых корней вправо. Следовательно, сдвинуть путем изменения значений k_{Π} и $k_{\text{И}}$ все рассматриваемые корни влево при выполнении условия (12) невозможно. Из этого следует, что условия (11) и (12) являются достаточными условиями оптимальности в случае 2.

На рис. 3 изображен годограф (7), соответствующий оптимальному по степени устойчивости решению и удовлетворяющий условиям (11) и (12).

Он получен для полинома (5), в котором

$$D_{1[n+1-n_g-2n_k]}(\lambda_1) = D_{1[6]}(\lambda_1) = (\lambda_1 + 1)^6, \\ n = 9, \quad n_g = 2, \quad n_k = 1, \quad \gamma_1 = 1, \quad \omega_1 = 0,6.$$

Из рис. 3 следует, любое изменение значений $k_{\text{Поп}}$ или $k_{\text{Иоп}}$ приводит к неустойчивости полинома (5). Таким образом, выполнение условий (11) и (12) обеспечивает в рассматриваемом случае максимальную степень устойчивости системы (1), (2).

3. СЛУЧАЙ 3: ОДИН ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЙ КОРЕНЬ И ОДНА КОМПЛЕКСНО СОПРЯЖЕННАЯ ПАРА КОРНЕЙ

В этом случае имеют место условия

$$n_g = 1, \quad n_k = 1, \quad \gamma_1 = 1, \quad (13)$$

при которых крайними правыми корнями полиномов (4) и (5) являются один действительный корень и одна комплексно сопряженная пара корней. Согласно работе [6] условия (13) могут выполняться только при

$$a_i^*(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) = 0, \quad \Delta_{n-1}^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) = 0, \\ \Delta_j^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) > 0, \quad (14)$$

где $1 < j < n - 2$, a_i^* — определяется выражением (6), $\Delta_j^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}})$ — определители Гурвица размерности $1 < j < n - 1$ полинома (5). Двух уравнений (14) недостаточно для нахождения трех неизвестных $I_{\text{оп}}$, $k_{\text{Поп}}$ и $k_{\text{Иоп}}$. Третье недостающее уравнение может быть получено из соображений о невозможности изменения только значения $k_{\text{Поп}}$ в управлении (2) невозможно увеличить степень устойчивости системы (1), (2). В рассматриваемом случае такая ситуация будет, когда годограф (7) полинома (5) касается в начале координат мнимой оси. Такой факт имеет место при выполнении условия $\text{Re}_1(\omega_1^2) = 0$ из которого следует, что полином

$$D_{1n_1}(\omega^2) = \text{Im}_0(\omega^2) + i\omega\text{Re}_1(\omega^2), \quad (15)$$

где $n_1 = 2[(n + 1)/2] - 1$, $[\cdot]$ — целая часть числа, имеет ту же комплексно сопряженную пару корней, что и исходный полином (5). Поэтому в оптимальном случае справедливо уравнение

$$\Delta_{n_1-1}^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}) = 0, \quad (16)$$

где $\Delta_{n_1-1}^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}})$ — определитель Гурвица размерности $n_1 - 1$ полинома (15).

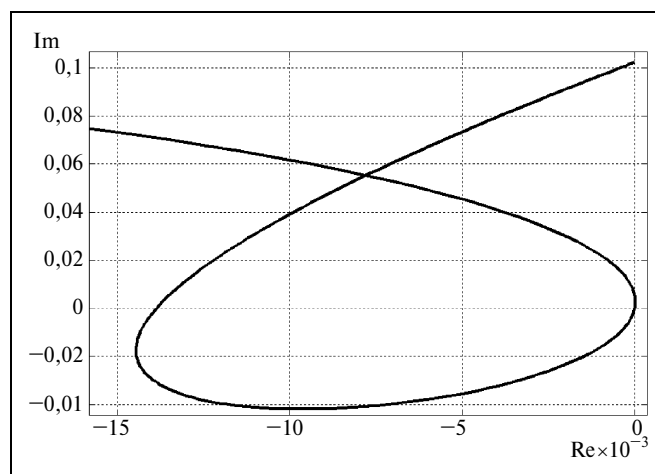


Рис. 4. Годограф неоптимальной системы для случая 3

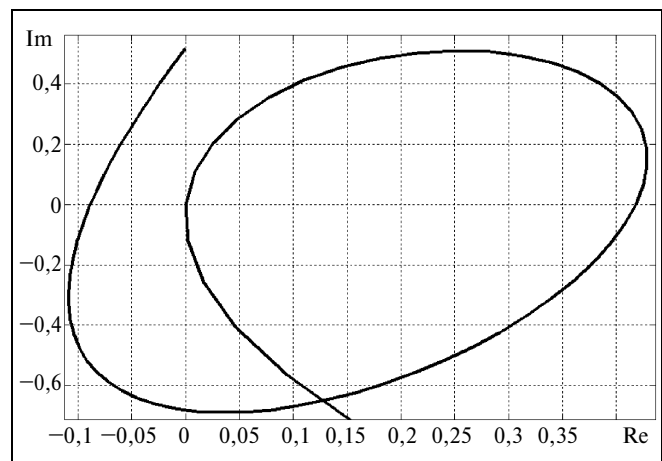


Рис. 5. Годограф оптимальной системы для случая 3

Из условий (14) и (16) можно определить три неизвестных параметра $I_{\text{оп}}$, $k_{\text{Поп}}$ и $k_{\text{Иоп}}$. Но условия (14) и (16), как и в предыдущем случае условий (11), являются необходимыми условиями оптимальности. Подтверждается это годографом (7) полинома (5), изображенным на рис. 4, для которого условия (14) и (16) выполнены, но очевидно, что увеличением параметров $k_{\text{П}}$ и $k_{\text{И}}$ полином (6) может быть сделан устойчивым.

Годограф рис. 4 получен для полинома (5), в котором

$$D_{1[n+1-n_g-2n_k]}(\lambda_1) = D_{1[6]}(\lambda_1) = (\lambda_1 + 1)^6, \\ n = 8, \quad n_g = 1, \quad n_k = 1, \quad \gamma_1 = 1, \quad \omega_1 = 0,32.$$

Достаточные условия оптимальности можно получить добавлением к условиям (14) и (16) условия на направления годографа в точке пересечения им на частоте ω_1 начала координат. Это направление должно быть противоположно направлению мнимой оси, что имеет место при выполнении неравенства

$$\text{Im}_1(\omega_1^2) < 0, \quad (17)$$

где функция $\text{Im}_1(\omega^2)$ определена выражением (12).

Условия (14), (16) и (17) являются достаточными условиями оптимальности в рассматриваемом случае. На рис. 5 изображен годограф (7), соответствующий оптимальному по степени устойчивости решению и удовлетворяющий условиям (14), (16) и (17).

Он получен для полинома (5), в котором

$$D_{1[n+1-n_g-2n_k]}(\lambda_1) = D_{1[6]}(\lambda_1) = (\lambda_1 + 1)^6, \\ n = 8, \quad n_g = 1, \quad n_k = 1, \quad \omega_1 = 0,72.$$



4. СЛУЧАЙ 4: ОДИН ДЕЙСТВИТЕЛЬНЫЙ КОРЕНЬ И ДВЕ ПАРЫ КОМПЛЕКСНО СОПРЯЖЕННЫХ КОРНЕЙ

В этом случае имеют место условия

$$n_g = 1, \quad n_k = 2, \quad \gamma_1 = 1, \quad \gamma_2 = 2, \quad (18)$$

при которых крайними правыми корнями полиномов (4) и (5) являются один действительный корень и две комплексно сопряженные пары корней. Согласно работе [6] условия (18) могут выполняться только при

$$\begin{aligned} a_i^*(I_{оп}, k_{Поп}, k_{Иоп}) &= 0, \\ \Delta_{n-3}^{(0)}(I_{оп}, k_{Поп}, k_{Иоп}) &= \Delta_{n-3}^{(1)}(I_{оп}, k_{Поп}, k_{Иоп}) = 0, \\ \Delta_j^{(0)}(I_{оп}, k_{Поп}, k_{Иоп}) &> 0, \end{aligned} \quad (19)$$

где $1 < j < n - 4$, a_i^* определяется выражением (6), $\Delta_{n-3}^{(0)}(I_{оп}, k_{Поп}, k_{Иоп})$, $\Delta_{n-3}^{(1)}(I_{оп}, k_{Поп}, k_{Иоп})$ — основной и побочный определители Гурвица полинома (5), описанные в книге [7]. Три уравнения, из которых находятся $I_{оп}$, $k_{Поп}$ и $k_{Иоп}$ и $(n - 4)$ неравенства в условиях (19) являются, как и в рассмотренных случаях 2 и 3, необходимыми условиями максимальной степени устойчивости системы (1), (2). На рис. 6 изображен годограф полинома (5), построенного из условий (19), но который не является годографом оптимальной системы. Очевидно, что увеличением $k_{Поп}$ и уменьшением $k_{Иоп}$ полином (5) может быть сделан устойчивым.

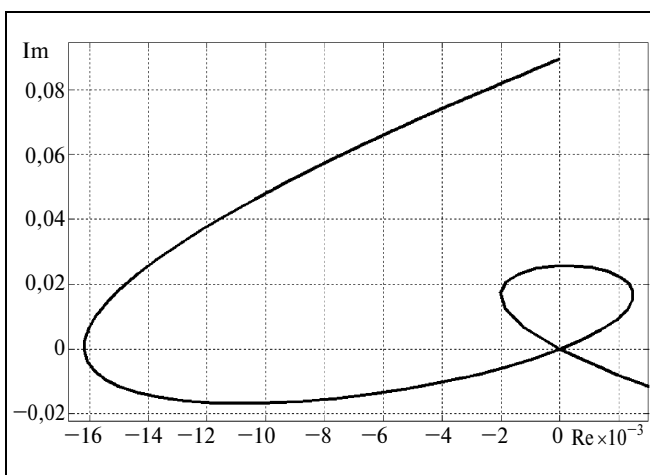


Рис. 6. Годограф неоптимальной системы для случая 4

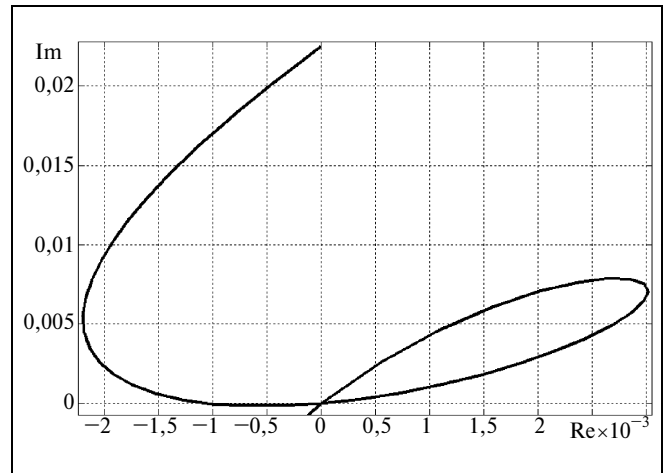


Рис. 7. Годограф оптимальной системы для случая 4

Годограф получен для полинома (5), в котором $D_{1[n+1-n_g-2n_k]}(\lambda_1) = D_{1[6]}(\lambda_1) = (\lambda_1 + 1)^6$, $n = 10$, $n_g = 1$, $n_k = 2$, $\gamma_1 = \gamma_2 = 1$, $\omega_1 = 0,46$, $\omega_2 = 0,65$.

Оптимальность такой системы имеет место при выполнении следующих неравенств:

$$\operatorname{Re}_1(\omega_1^2) > 0, \quad \operatorname{Re}_1(\omega_2^2) < 0,$$

$$\operatorname{Re}_1(\omega_1^2) < 0, \quad \operatorname{Re}_1(\omega_2^2) < 0,$$

где $\omega_1 < \omega_2$ — частоты, на которых годограф пересекает начало координат, функция $\operatorname{Re}_1(\omega^2)$ определена при рассмотрении случая 2. На рис. 7 изображен годограф полинома (5) оптимальной системы. Он получен для полинома (5), в котором

$$\begin{aligned} D_{1[n+1-n_g-2n_k]}(\lambda_1) &= D_{1[6]}(\lambda_1) = (\lambda_1 + 1)^6, \quad n = 10, \\ n_g &= 1, \quad n_k = 2, \quad \gamma_1 = \gamma_2 = 1, \quad \omega_1 = 0,3, \quad \omega_2 = 0,5. \end{aligned}$$

5. СЛУЧАЙ 5: ДВЕ ПАРЫ КОМПЛЕКСНО СОПРЯЖЕННЫХ КОРНЕЙ

В этом случае справедливы условия

$$n_k = 2, \quad \gamma_1 = 1, \quad \gamma_2 = 2, \quad (20)$$

при которых крайними правыми корнями полиномов (5) и (6) являются две комплексно сопряженные пары корней. Условия (20) могут выполняться только при

$$\begin{aligned} \Delta_{n-2}^{(0)}(I_{оп}, k_{Поп}, k_{Иоп}) &= \Delta_{n-2}^{(1)}(I_{оп}, k_{Поп}, k_{Иоп}) = 0, \\ \Delta_j^{(0)}(I_{оп}, k_{Поп}, k_{Иоп}) &> 0, \end{aligned} \quad (21)$$

где $1 < j < n - 3$, $\Delta_{n-3}^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}})$, $\Delta_{n-3}^{(1)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}})$ — основной и побочный определители Гурвица. Из двух уравнений (21) невозможно найти три параметра $I_{\text{оп}}$, $k_{\text{Поп}}$ и $k_{\text{Иоп}}$. Для получения необходимого третьего уравнения воспользуемся результатами работы [6], из которой следует, что при условиях (20) имеет место касание годографа в точках пересечения им начала координат на частотах ω_1 и ω_2 . Поэтому существует полином

$$S_{1v}(\omega^2) = v \operatorname{Re}_1(\omega^2) + \operatorname{Im}_1(\omega^2),$$

где v — тангенс угла наклона касательной, корнями которого также являются $\omega = \omega_1$ и $\omega = \omega_2$, в силу чего полином от $i\omega$

$$D_{n0v}(i\omega) = \operatorname{Im}_0(\omega^2) + i\omega S_{1v}(\omega^2), \quad n_0 = 2[n/2], \quad (22)$$

где $\operatorname{Im}_0(\omega^2)$ из выражения (7), имеет корни при тех же $\omega = \pm\omega_1$ и $\omega = \pm\omega_2$. В связи с этим оказываются справедливыми два следующих уравнения:

$$\Delta_{n_0-3,v}^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, v) = \Delta_{n_0-3,v}^{(1)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, v) = 0, \quad (23)$$

где $\Delta_{n_0-3,v}^{(i)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, v)$, $i = 0, 1$ — основной и побочный определители Гурвица полинома (22).

Таким образом, мы имеем четыре уравнения (21) и (23) с четырьмя неизвестными $I_{\text{оп}}$, $k_{\text{Поп}}$, $k_{\text{Иоп}}$ и v . Как и в предыдущем случае, условия (21) и (23) являются необходимыми условиями максимальной степени устойчивости системы (1), (2). На

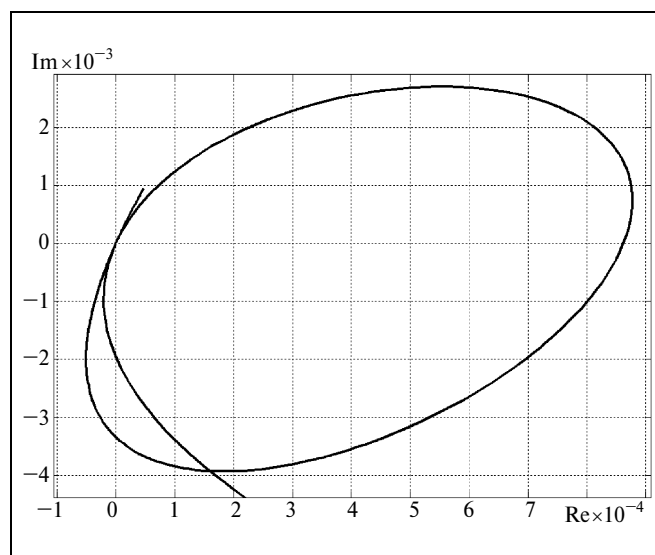


Рис. 8. Годограф неоптимальной системы для случая 5

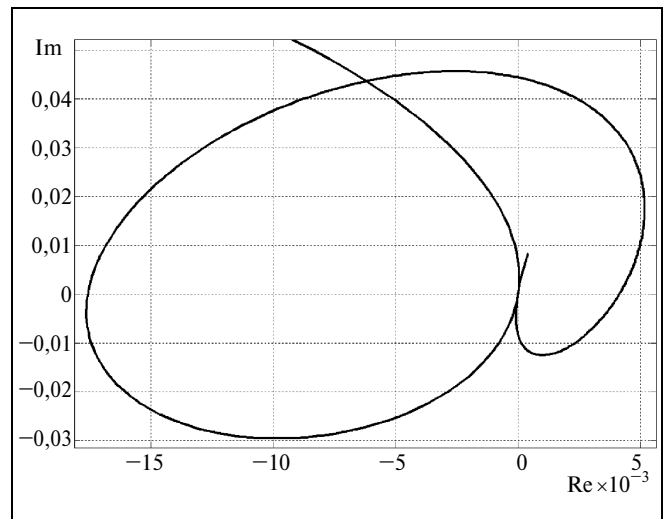


Рис. 9. Годограф оптимальной системы для случая 5

рис. 8 изображен годограф полинома (6), построенного из условий (21) и (23), но который не является годографом оптимальной системы. Он получен для полинома (5), в котором

$$D_{1[n+1-n_g-2n_k]}(\lambda_1) = D_{1[6]}(\lambda_1) = (\lambda_1 + 1)^6, \quad n = 9, \\ n_g = 0, \quad n_k = 2, \quad \gamma_1 = \gamma_2 = 1, \quad \omega_1 = 0,03, \quad \omega_2 = 0,23.$$

Для оптимальности такой системы достаточно выполнение следующего ограничения на скалярное произведение:

$$\langle (\operatorname{Re}_1(\omega_1^2), \operatorname{Im}_1(\omega_1^2)), (\operatorname{Re}_1(\omega_2^2), \operatorname{Im}_1(\omega_2^2)) \rangle < 0,$$

в котором функции $\operatorname{Re}_1(\omega^2)$ и $\operatorname{Im}_1(\omega^2)$ определены ранее (в условиях (12) и (17)), $(\operatorname{Re}_1(\omega_1^2), \operatorname{Im}_1(\omega_1^2))$ и $(\operatorname{Re}_1(\omega_2^2), \operatorname{Im}_1(\omega_2^2))$ — векторы направления годографа $Z_{n0}(i\omega)$ при $\omega = \omega_1$ и $\omega = \omega_2$ соответственно, ω_1 и ω_2 — частоты, на которых годограф (7) проходит через начало координат. На рис. 9 изображен годограф полинома (5) оптимальной системы. Любое изменение положения этого годографа в направлении касательного вектора путем вариаций значений $k_{\text{Поп}}$ и $k_{\text{Иоп}}$ приводит к переходу двух пар крайних правых корней в правую полуплоскость. Изменение в направлении, перпендикулярном этому вектору, приводит к переходу одной из пар в правую полуплоскость.

Годограф получен для полинома (5), в котором

$$D_{1[n+1-n_g-2n_k]}(\lambda_1) = D_{1[6]}(\lambda_1) = (\lambda_1 + 1)^6, \\ n = 9, \quad n_g = 0, \quad n_k = 2, \quad \omega_1 = 0,05, \quad \omega_2 = 0,41.$$



6. СЛУЧАЙ 6: ОДНА КРАТНАЯ ПАРА КОМПЛЕКСНО СОПРЯЖЕННЫХ КОРНЕЙ

В этом случае справедливы условия

$$n_k = 1, \quad \gamma_1 = 2, \quad (24)$$

при которых крайними правыми корнями полиномов (5) и (6) является кратная комплексно сопряженная пара корней. Условия (24) могут выполняться при

$$\begin{aligned} \Delta_{n-2}^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) &= \Delta_{n-2}^{(1)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) = 0, \\ \Delta_{n-2}^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) &> 0, \end{aligned} \quad (25)$$

где $1 < j < n - 3$, $\Delta_{n-2}^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}})$ и $\Delta_{n-2}^{(1)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}})$ — основной и побочный определители Гурвица. Для нахождения трех параметров $I_{\text{оп}}$, $k_{\text{Поп}}$ и $k_{\text{Иоп}}$, как и в работе [7], введем полином

$$D_{1(n-1)}^{(1)}(I_{\text{оп}}) = \text{Re}_1(\omega^2) + i\omega \text{Im}_1(\omega^2), \quad (26)$$

где функции $\text{Re}_1(\omega^2)$ и $\text{Im}_1(\omega^2)$ определены ранее. Полином (26) имеет корень на той же частоте, что и полином (5). Поэтому справедливо условие

$$\Delta_{1(n-2)}^{(0)}(I_{\text{оп}}) = 0, \quad (27)$$

где $\Delta_{1(n-2)}^{(0)}(I_{\text{оп}})$ — основной определитель Гурвица полинома (26). Трех уравнений (25) и (27) достаточно для определения параметров $I_{\text{оп}}$, $k_{\text{Поп}}$ и $k_{\text{Иоп}}$,

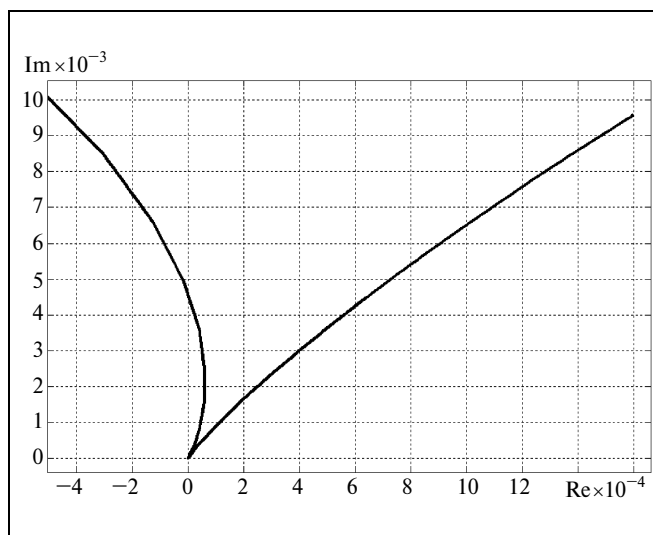


Рис. 10. Годограф оптимальной системы для случая 6

причем условия (25) и (27), как и в случае 1, являются достаточными условиями оптимальности. Вначале из уравнения (27) находится оптимальное значение степени устойчивости $I_{\text{оп}}$, затем из уравнений (25) — параметры $k_{\text{Поп}}$ и $k_{\text{Иоп}}$. На рис. 10 изображен годограф полинома (5) оптимальной системы. Он получен для полинома (5), в котором

$$\begin{aligned} D_{1[n+1-n_g-2n_k]}(\lambda_1) &= D_{1[6]}(\lambda_1) = (\lambda_1 + 1)^6, \\ n &= 9, \quad n_g = 0, \quad n_k = 1, \quad \gamma_1 = 2, \quad \omega_1 = 0,2. \end{aligned}$$

7. СЛУЧАЙ 7: ТРИ ПАРЫ КОМПЛЕКСНО СОПРЯЖЕННЫХ КОРНЕЙ

В этом случае справедливы условия

$$n_k = 3, \quad \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 1, \quad (28)$$

при которых крайними правыми корнями полиномов (4) и (5) являются три пары комплексно-сопряженных корней. Условия (28) могут выполняться при

$$\begin{aligned} \Delta_{n-4}^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) &= \Delta_{n-4}^{(1)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) = \\ &= \Delta_{n-4}^{(2)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) = 0, \\ \Delta_j^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) &> 0, \end{aligned} \quad (29)$$

где $1 < j < n - 5$, $\Delta_{n-4}^{(0)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) = \Delta_{n-4}^{(1)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}}) = \Delta_{n-4}^{(2)}(I_{\text{оп}}, k_{\text{Поп}}, k_{\text{Иоп}})$ — основной и побочные определители Гурвица. Условия (29) являются необходимыми условиями максимальной степени устойчивости системы (1), (2). На рис. 11 изображен годограф полинома (5), построенного при выполнении условий (29), но который не является годографом оптимальной системы.

Он получен для полинома (5), в котором

$$\begin{aligned} D_{1[n+1-n_g-2n_k]}(\lambda_1) &= D_{1[6]}(\lambda_1) = (\lambda_1 + 1)^6, \\ n &= 11, \quad n_g = 0, \quad n_k = 3, \quad \gamma_1 = \gamma_2 = \gamma_3 = 1, \\ \omega_1 &= 0,03, \quad \omega_2 = 0,15, \quad \omega_3 = 0,254. \end{aligned}$$

Для оптимальности системы (1), (2) достаточно выполнение следующих условий на скалярные произведения. Если $(\text{Re}_1(\omega_1^2), \text{Im}_1(\omega_1^2))$ — направление годографа (7) в точке пересечения начала координат на частоте ω_1 , $(\text{Re}_1(\omega_2^2), \text{Im}_1(\omega_2^2))$ — направление годографа на частоте ω_2 , $(\text{Re}_1(\omega_3^2), \text{Im}_1(\omega_3^2))$ — направление годографа на частоте ω_3 ,

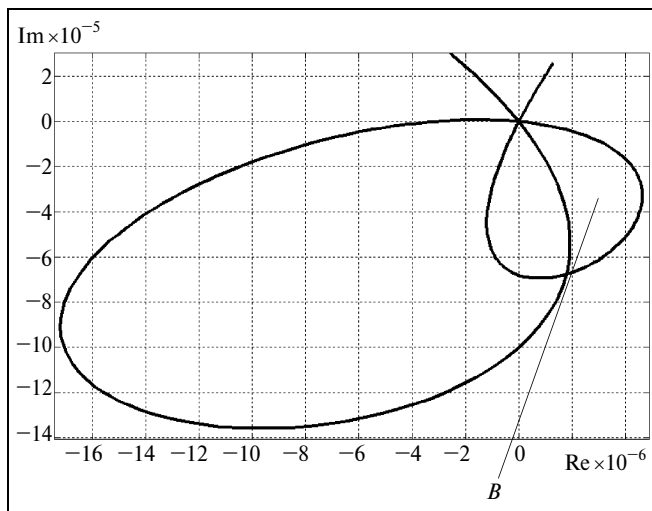


Рис. 11. Годограф неоптимальной системы для случая 7

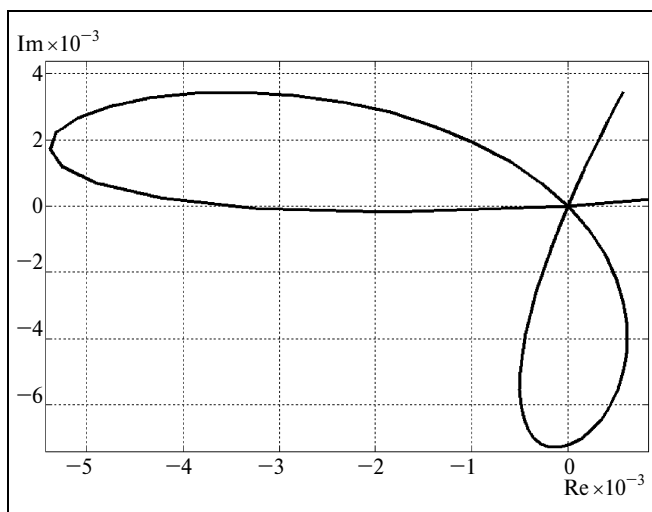


Рис. 12. Годограф оптимальной системы для случая 7

где $\text{Re}_1(\omega^2)$ и $\text{Im}_1(\omega^2)$ определяются выражением (15), то произведение скалярных произведений

$$\langle (-\text{Im}_1(\omega_1^2), \text{Re}_1(\omega_1^2)), (\text{Re}_1(\omega_2^2), \text{Im}_1(\omega_2^2)) \rangle \times \langle (-\text{Im}_1(\omega_1^2), \text{Re}_1(\omega_1^2)), (\text{Re}_1(\omega_3^2), \text{Im}_1(\omega_3^2)) \rangle < 0. (30)$$

Доказательство оптимальности условий (29) и (30) основано на том, что при сдвиге путем изменения значений $k_{\text{Поп}}$ и $k_{\text{Иоп}}$ любых двух чисто мни-

мых комплексно сопряженных пар корней влево от мнимой оси плоскости λ_1 третья пара сдвигается вправо. При выполнении условия (38) отсутствует общая область устойчивости, аналогичная области B , которая была в случае, показанном на рис. 11.

На рис. 12 изображен годограф полинома (5) оптимальной системы. Он получен для полинома (5), в котором

$$D_{1[n+1-n_g-2n_k]}(\lambda_1) = D_{1[6]}(\lambda_1) = (\lambda_1 + 1)^6, \\ n = 11, \quad n_g = 0, \quad n_k = 3, \quad \gamma = 1, \\ \omega_1 = 0,1, \quad \omega_2 = 0,4, \quad \omega_3 = 0,8.$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

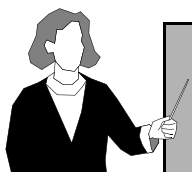
Исследованы все возможные семь случаев оптимальных по степени устойчивости решений при ПИ-законе управления и для каждого из них получены достаточные условия оптимальности. С помощью машинных методов расчета построены годографы замкнутых систем управления, для которых выполняются либо только необходимые условия оптимальности, либо достаточные. Вид построенных годографов оптимальных систем наглядно отражает геометрический смысл полученных решений.

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.
5. 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 // Автоматика и телемеханика. — 1997. — № 8. — С. 67—79.
7. Гантмахер Ф.Р. Теория матриц. — М.: Наука, 1967.

✉ (495) 334-88-81, e-mail: shub@ipu.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.Г. Бутковским. □



Читайте в следующем номере статью

Цыганова В.В., Кадымова Д.С. Механизмы управления политико-экономическими системами

ПРИМЕНЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ УЧЕТА НАСЕЛЕНИЯ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДОСТОВЕРНЫХ ПРОГНОЗОВ И ЭФФЕКТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДЕМОГРАФИЧЕСКИМИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

А.Ф. Страхов, О.А. Страхов

Московский государственный институт электроники и математики

На основе обобщения опыта теоретических и экспериментальных исследований изложены принципы формирования интегрированных персональных данных населения территорий и пояснены пути повышения точности демографических прогнозов на основе приложений метрологии и теории синтеза многопараметровых измерительных систем.

ВВЕДЕНИЕ

Население государства и территорий в его составе всегда рассматривалось как основной ресурс его существования и развития государства (территории). Особенность населения состоит в том, что оно одновременно является источником (прямым и косвенным) формирования бюджета и объектом расходования бюджета. От состояния (численности, качественного состава и тенденций развития) населения зависят такие ключевые характеристики государства, как его экономический потенциал, безопасность, суверенитет и др.

Очевидно, что эффективное управление социально-экономическими и демографическими процессами невозможно без автоматизированных информационных систем (АИС) учета населения, позволяющих получать достоверные данные о населении территорий и давать достоверные прогнозы развития демографических процессов.

Первые предложения по созданию АИС учета населения были сформулированы в конце 1980-х гг. Всесоюзным научно-исследовательским институтом проблем вычислительной техники и информатизации. В этот же период научно-производствен-

ным объединением «АСУ-Москва» была предпринята попытка создания АИС «Население» для г. Москвы, которая завершилась неудачей [1].

В конце 1990 г. Правительством г. Москвы был объявлен конкурс на создание Автоматизированной системы учета населения г. Москвы и Московской области (АСУН Московского региона).

По итогам конкурса работы по созданию АСУН Московского региона были поручены коллективу под руководством первого из авторов данной публикации. При всех сложностях того периода работы по ее созданию в 1995 г. были завершены. С 1996 г. по настоящее время АСУН Московского региона находится в круглосуточной эксплуатации, в реальном времени поддерживает работу сети, содержащей около 2000 АРМ абонентов удаленного доступа из различных организаций и ведомств Москвы и федерального уровня. В 1998 г. АСУН Московского региона была определена как базисная для создания интегрированной системы сводных персональных данных населения Москвы. В целях ускорения создания подобных систем в других регионах, в 1995—1996 гг. в 87 регионах России (кроме Москвы и Московской области, охваченных зоной действия АСУН Московского

региона) были направлены предложения по внедрению у них АСУН на основе решений, отработанных в АСУН Московского региона. Последовавшие за этим консультации представителей регионов России и ознакомление их с работающей АСУН способствовали активизации подобных работ в ряде регионов (Петербург, Екатеринбург, Ханты-Мансийский автономный округ и др.).

Несмотря на значительный для АИС срок с момента внедрения в эксплуатацию (более 10 лет), АСУН Московского региона до настоящего времени превосходит по основным эксплуатационно-техническим характеристикам известные отечественные и зарубежные системы подобного назначения, созданные в последние годы на более совершенной инструментальной платформе.

Теоретические и экспериментальные исследования, проведенные за время создания, последующего сопровождения и развития АСУН Московского региона, позволили выработать ряд решений и рекомендаций как по созданию подобных систем, так и по их более эффективному применению в интересах управления социально-экономическими и демографическими процессами территорий, в интересах информационной поддержки органов территориального управления, органов обеспечения общественной безопасности и др. Некоторые из них изложены в настоящей статье.

Особенностью опыта работ с АСУН Московского региона является масштаб ее применения. Зона действия АСУН охватывает население, составляющее более 10 % всего населения современной России. В зоне действия АСУН находятся все типы населенных пунктов, присущие большинству регионов России. Поэтому АСУН Московского региона представляет собой полнофункциональную модель АСУН России, концепция создания которой изложена в работе [2].

При отработке принципов построения АСУН Московского региона и решений по обеспечению более высокой достоверности данных был использован многолетний опыт первого из авторов данной публикации по созданию автоматизированных измерительных систем и комплексов различного целевого назначения и обоснованные им методы синтеза многопараметровых измерительных систем [3–10 и др.].

В наиболее полном виде предложения и решения по реализации системного подхода к учету населения и использованию достоверных данных учета населения для эффективного управления социально-экономическими и демографическими процессами были впервые изложены в работе [2].

За время, прошедшее после публикации работы [2], ключевые концептуальные положения по при-

менению информационных технологий в предметной области учета населения получили дальнейшее развитие. Были разработаны новые методы оценки достоверности прогноза изменения состояния населения территорий, новые системные решения по интеграции персональных данных населения и др., что побудило авторов к публикации данной статьи.

1. ВЗАИМОСВЯЗЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ТЕРРИТОРИЙ С УЧЕТНЫМИ ДАННЫМИ НАСЕЛЕНИЯ

При возможных незначительных отличиях структура информационных ресурсов, используемых (необходимых для использования) в различных регионах России, примерно одинакова. Отличия, в основном, состоят в степени автоматизации формирования ресурсов, в их достоверности и доступности. В этом отношении Москва представляет собой подходящую модель для анализа возможностей интеграции ресурсов, так как здесь их формирование в большей степени автоматизировано, чем во многих других регионах России.

Социально-экономическое состояние каждой развитой территории находит свое отражение в совокупности соответствующих информационных ресурсов. Применительно к Москве это наглядно показано в работе [11], согласно которой структура информационных ресурсов может быть представлена графом (рис. 1). Корень графа 1 соответствует информационному полю Москвы. Вершинами

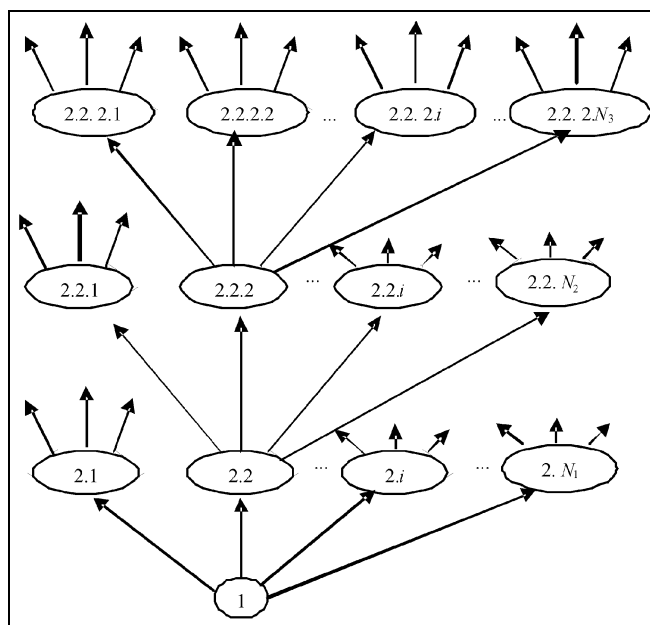


Рис. 1. Структура информационных ресурсов территории (г. Москвы)



2.1, ..., 2.N₁ графов первого уровня служат массивы отраслевых информационных ресурсов по профилю деятельности отраслевых (функциональных) органов исполнительной власти города и ее территориальных органов — для самоуправляемых территорий в составе города. Вершинам 2.2.1, ..., 2.2.N₂ графов второго уровня соответствуют информационные массивы по профилям деятельности комплексов городского управления (комплекс городского хозяйства, комплекс экономической политики и развития, комплекс социальной сферы и др.). Вершины графов 2.2.2.1, ..., 2.2.2.N₃ третьего уровня для ветви функционального управления отражают специализированные (профильные, ведомственные) информационные ресурсы соответствующих органов исполнительной власти города (департаментов, комитетов, управлений, инспекций). Вершины 2.2.2.2.1, ..., 2.2.2.2.N₄ четвертого уровня данной ветви графа отражают информационные массивы, формируемые по профилю государственных (муниципальных) предприятий и организаций, подведомственных органам исполнительной власти или находящимся под их функциональным управлением. Для динамической модели в качестве размерности графов может быть принята интенсивность соответствующих информационных потоков.

Если развивать структуру этого графа далее, то ее необходимо дополнить ветвями следующих уровней, которые будут отражать еще более узкопрофильные информационные ресурсы. Многие из этих ресурсов будут представлять собой персональные учетные данные категорий населения по линии разных ведомств и учреждений (пациенты поликлиник, пенсионеры, военнообязанные, избиратели, служащие учреждений и др.). Кроме графов, отражающих отдельные виды ресурсов, в более детальной структуре графа должна быть отражена структура взаимодействия ресурсов (взаимная актуализация, т. е. оперативная корректировка сведений в составе одной группы ресурсов на основе актуальных сведений, сформированных в другой группе взаимосвязанных ресурсов). В этом случае вершины графа (и последующих ветвей) должны быть дополнены указанными связями. В конечном итоге вся совокупность вершин графа должна быть связана с соответствующими целями, на достижение которых направлено формирование совокупности информационных ресурсов. Если к этому добавить внешние графы управляющих воздействий (влияющих на формирование соответствующих ресурсов) с вершинами в соответствующих узловых точках, то получим многосвязный гиперграф, отражающий динамическую модель со-

циально-экономического управления территорией. Одновременно этот гиперграф будет отражать перспективную стратегию интеграции различных видов информационных ресурсов в интересах эффективного управления территорией.

Структура графа (см. рис. 1) отражает существующее состояние по формированию основных ресурсов в процессе деятельности совокупности органов административно-хозяйственного управления Москвы и находящихся в ее административных границах хозяйствующих субъектов. В каждом из массивов, отображенных на графе, содержатся сведения о населении (интегральные или персонализированные). Однако в настоящее время указанные информационные ресурсы распределены в нескольких сотнях автономных информационных систем и сгруппированы в более чем 500-х автономных информационных массивах [11]. В связи с этим структуру данного графа можно рассматривать как основу перспективной интеграции информационных ресурсов для создания единого информационного пространства Москвы и других территорий в составе России.

Оценка интегральных показателей состояния населения основывается на совместной обработке информации по всей совокупности показателей каждого субъекта учета населения, отражающих все стороны его социально-экономической деятельности (пребывания) на конкретной территории. Сопоставляя, группируя и анализируя эти показатели, формируют интегральные показатели состояния категорий населения и всего наличного населения по заданным социально значимым критериям. Однако для этого на основе разрозненных профильных (специализированных) персональных данных субъектов учета населения, формируемых в ведомственных информационных ресурсах (см. вершины ветвей графа на рис. 1 и упомянутого многосвязного гиперграфа), необходимо формировать и непрерывно актуализировать интегрированные персональные данные по каждому субъекту учета населения соответствующей территории (например, города Москвы или самоуправляемых территорий в ее составе) [2, 3, 12].

На рис. 2 представлен граф, отражающий информационно-лингвистическую модель интегрированных (сводных) персональных данных субъекта учета населения [3, 12]. Его корень 1 соответствует адресным данным, т. е. официальному описанию адреса места регистрации проживания или пребывания субъекта учета в пределах данной территории. Вершины 2 соответствуют идентификационным данным субъекта учета населения, зарегистрированного по данному адресу. Вершины 3 отражают принадлежность субъекта учета к соот-

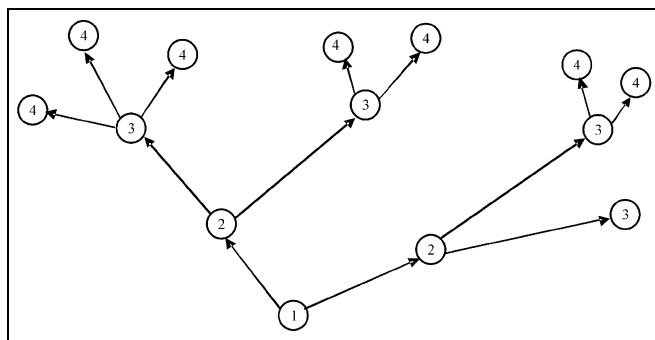


Рис. 2. Информационно-лингвистическая модель интегрированных (сводных) персональных данных субъекта учета населения

ветствующим социально-профессиональным группам и категориям населения. Вершины 4 содержат персональные данные (параметры) субъекта учета населения по линии ведомств, осуществляющих учет и обслуживание соответствующих категорий населения и т. д.

Неполнота охвата учетом всего наличного населения из-за несовершенства нормативно-правовой и организационно-методической базы представляет собой одну из основных причин методических погрешностей учета населения территорий [2, 3]. Например, если субъект учета населения одной территории без уведомления выбывает (постоянно или временно) на другую территорию, то он продолжает учитываться в составе наличного населения территории прежнего местопребывания и не учитывается в составе наличного населения по месту текущего пребывания. Другие причины, снижающие достоверность оценки текущего (наличного) состава населения территорий, обусловлены рассогласованностью различных видов учетов персональных данных субъектов учета населения, осуществляемых по линии разных ведомств [2, 3]. Это обусловлено объективными причинами — независимое создание ведомственных информационных систем и отсутствие единого регламента их взаимодействия. Например, субъект учета после регистрации в составе одной из профильных информационных систем (пенсионного фонда, налогоплательщиков и др.) изменил свои идентификационные и адресные данные, которые ведутся в системе адресно-регистрационного учета (для Москвы — в составе АСУН Московского региона). Если актуализация указанных профильных АИС со стороны системы адресно-регистрационного учета не реализована, персональные данные по этому субъекту в специализированных системах утрачивают свою достоверность (актуальность). В связи с этим необходимо применять технические решения

по интеграции автономных АИС в единое информационное пространство, которые бы обеспечивали ведение совокупных (интегрированных согласно модели, представленной на рис. 2) персональных данных субъектов учета населения — не накладывая при этом жестких ограничений на независимое развитие интегрируемых специализированных АИС [2, 3, 12, 13].

Возможно несколько подходов к интеграции взаимодействующих АИС. Один из них состоит в унификации интерфейсных характеристик и протоколов информационного взаимодействия для всех взаимодействующих АИС. Как показывает анализ и опыт авторов в области интеграции АИС на базе АСУН Московского региона, подобный подход практически не реализуем, так как налагает ограничения на независимое развитие интегрируемых АИС.

Другой подход состоит в организации двустороннего взаимодействия между некоторой базисной системой интегрированной сети и подключаемыми к ней профильными АИС. По такой схеме, в частности, было организовано взаимодействие АСУН Московского региона с ЕИС «Жилище» г. Москвы и АИС «Налог-Москва». Данный подход имеет право на жизнь, но при большом числе интегрируемых АИС его реализация станет громоздкой и дорогостоящей (особенно при необходимости организации гибких связей типа «каждый с каждым»).

Наиболее рациональной концептуальной основой для объединения независимых специализированных АИС в интегрированное информационное пространство ведения сводных персональных данных субъектов учета населения согласно рассмотренной модели (см. рис. 2) в настоящее время можно считать интеграцию корпоративных приложений (Enterprise Application Integration, EAI) на основе сервис-ориентированной архитектуры (Service Oriented Architecture, SOA) [12, 14, 15]. Все функции интегрированной сети учета персональных данных населения (ИСУ ПДН) на основе SOA определяются как независимые сервисы с вызываемыми интерфейсами. Обращение к этим сервисам в определенной последовательности позволяет реализовать требуемый процесс информационного взаимодействия.

Базисом коммуникационной инфраструктуры ИСУ ПДН служит корпоративная сервисная шина (Enterprise Service Bus, ESB), которая выполняет [14]:

- трансформацию передаваемых сообщений;
- стандартизацию и упрощение способов подключения сервисов ИСУ ПДН к магистрали;
- маршрутизацию сообщений;

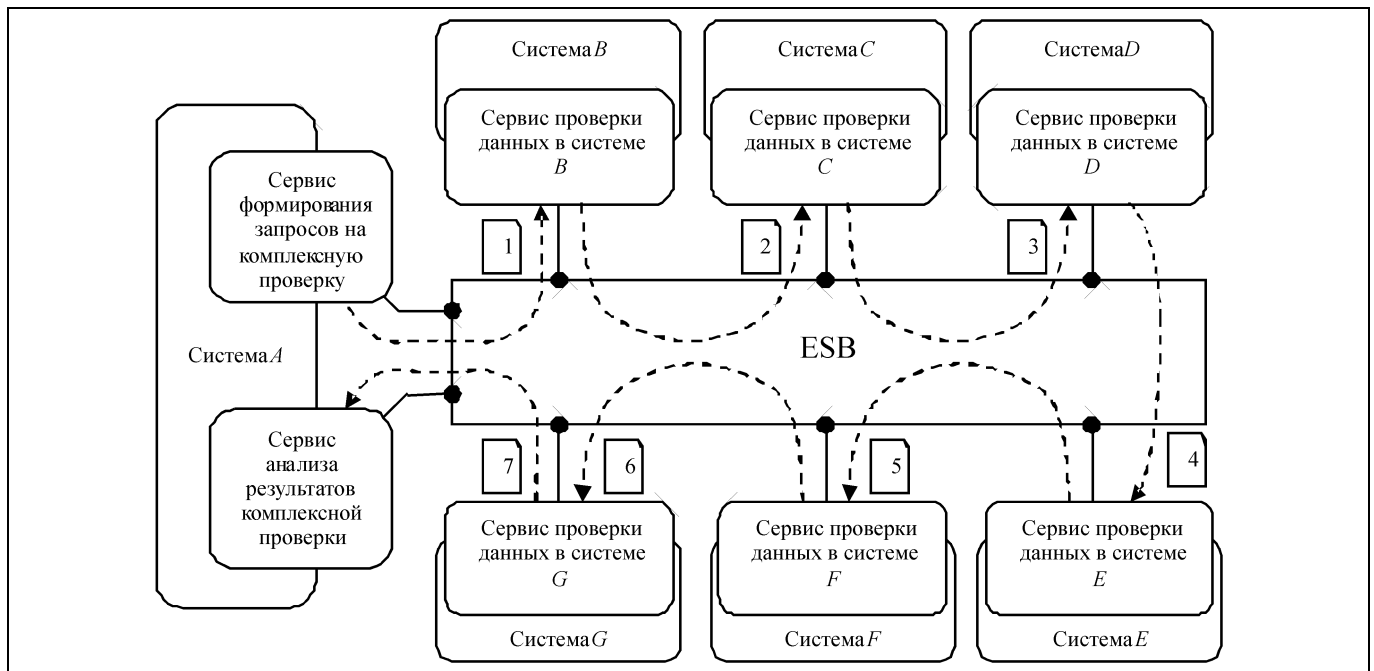


Рис. 3. Взаимодействие приложений с использованием сервисной магистрали

— гарантированную доставку сообщений с использованием различных протоколов (SOAP-over-HTTP, MOM/JMS, JMS-over-SSL и др.) и обеспечение безопасности на маршруте.

Пример взаимодействия приложений в составе ИСУ ПДН с использованием магистрали ESB показан на рис. 3.

В качестве системы *A* может выступать, например, базисная автоматизированная система учета адресно-регистрационных данных наличного населения (АСУН) [2, 3, 12]. В качестве систем *B*, ..., *E* выступают специализированные системы учета персональных данных категорий населения, подлежащих интеграции. На рис. 3 показан наиболее сложный случай последовательного опроса сервисов. Самым простым случаем следует считать прямое взаимодействие базисной системы *A* с каждой из интегрируемых систем *B*, ..., *E* по принципу «точка—точка».

Рассмотрим действие ИСУ ПДН в нескольких характерных ситуациях.

1.1. Взаимная актуализация систем

На одну из систем (например, на базисную систему *A*, в качестве которой может быть АСУН Московского региона) поступают актуальные данные субъекта учета населения в виде сообщения в формате XML. В их состав входят актуальные и предыдущие идентификационные и паспортные данные, адресные и другие данные по регламенту актуализации системы *A*. Базисная система *A*

актуализирует собственную базу данных и через сервисную шину ESB в формате XML-сообщений транслирует актуальные данные на все системы *B*, ..., *E*, интегрированные в сети ИСУ ПДН. Принятые каждой профильной системой актуальные данные преобразуются из формата XML в соответствующий ее внутренней структуре формат, и производится актуализация своей базы данных в части, ее касающейся.

1.2. Справочное обслуживание оперативных запросов

На базисную систему *A* поступает запрос в формате XML, содержащий запросные реквизиты как по данным, содержащимся в системе *A*, так и по данным, содержащимся в других системах (например, системах *B* и *E*). В зависимости от регламента возможны, по крайней мере, две технологии формирования ответа на запрос. По первой из них принятое сообщение в формате XML транслируется по шине ESB на все взаимодействующие системы *B*, ..., *E*. Каждая система (по принадлежности реквизитов) после расшифровки XML-сообщения извлекает по заданным запросным реквизитам соответствующие сведения на запрашиваемые субъекты учета и в формате XML-сообщений передает их в систему *A*. Система *A* на основе сведений из собственной базы данных и сведений из взаимодействующих систем формирует полный ответ в формате XML-сообщений и направляет их адресату запроса (например, на АРМ абонента удален-

ного доступа, который телекоммуникационными средствами также подключен к шине ESB).

По второй технологии система *A*, после расшифровки запроса, определяет принадлежность запросных реквизитов к содержимому баз данных взаимодействующих систем (в данном случае — системы *B* и *E*). Частные запросы (только по конкретным реквизитам конкретных субъектов учета) направляются в виде XML-сообщений по шине ESB в системы *B* и *E*, соответственно. Получение сведений от систем *B* и *E* в систему *A*, формирование ответа и передача его адресату производится так же, как и по первой технологии. Во втором варианте обеспечивается более четкое распределение полномочий по доступу к базам данных (что не исключается и в первом варианте — постановкой модуля проверки полномочий доступа на входе каждой системы).

1.3. Обслуживание аналитических запросов по интегральным показателям, характеризующим состав (качество, состояние) населения территории

На вход системы *A* приходит аналитический запрос, содержащий критериальные реквизиты (например, состав семей, проживающих на заданной территории в пределах зоны действия ИСУ ПДН). В данном случае должны быть заданы параметры территории (район, улица, конкретные дома или конкретные адреса квартир), критерии группировки (например, численный состав семьи, средняя жилая площадь на одного члена семьи и т. п.). Такой запрос будет обрабатываться в несколько этапов. На первом этапе по адресному реквизиту делаются выборки (в ранее рассмотренных примерах — из базисной системы *A*, в качестве которой может быть АСУН Московского региона) и формируются списки субъектов учета, входящих в отдельные семьи по заданным адресам проживания. При неоднозначной классификации принадлежности субъектов учета к отдельным семьям может потребоваться дополнительное обращение к соответствующей профильной системе из сети ИСУ ПДН (например, в системе ЕИРЦ — единого информационно-расчетного центра). На втором этапе по каждой группе сведений на членов семьи формируются запросные сообщения в формате XML через шину ESB к взаимодействующим профильным системам (например, к системе БТИ по размеру жилплощади квартир, в систему налоговой инспекции по индивидуальным доходам и т. п.).

Полученные рассмотренным выше способом данные группируются, обрабатываются (например, определяется численный состав каждой семьи, общая жилплощадь, приведенная жилплощадь, общий доход семьи, средний доход членов

семьи, число членов семьи по заданным возрастным интервалам, наличие инвалидов и т. п.). Далее эти сведения систематизируются по алгоритму обслуживания аналитических запросов. Сформированный ответ будет содержать деперсонифицированные данные, не ущемляющие права личности и конфиденциальность персональных сведений (например, общее число семей на заданной территории, распределение семей по численному и возрастному составу, по общей и удельной жилплощади, по общим и средним доходам и т. п.).

Рассмотренная концепция построения ИСУ ПДН на основе магистрали ESB позволяет обеспечить необходимую полноту формирования интегральных персональных данных субъектов учета населения согласно модели, представленной на рис. 2, и необходимую достоверность этих данных благодаря непрерывной взаимной актуализации — при обеспечении всех требований к информационной безопасности интегрированной сети.

2. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗНЫХ ОЦЕНОК РАЗВИТИЯ ДЕМОГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Актуальность прогноза развития демографических процессов (миграции населения, смертности, рождаемости, изменения структурного состава населения отдельных территорий) для эффективного управления территориями все более возрастает [2].

Достоверность прогнозных оценок развития демографических процессов конкретной территории на перспективный период (составляющий обычно несколько лет) зависит от трех основных факторов [12]:

- от погрешности используемых математических моделей, отображающих (интерпретирующих) соответствующие демографические процессы — с определенным приближением к реальности;

- от погрешностей исходных данных, используемых для получения прогнозных оценок на основе той или иной математической модели демографических процессов;

- от неполноты набора исходных данных, необходимых для корректной прогнозной оценки на основе выбранной модели демографических процессов.

Для повышения адекватности моделей по отношению к реальным демографическим процессам в составе моделей учитывается все большее число влияющих факторов и процессов (уровень миграции, социально-бытовые условия и др.) [16]. Однако создание модели, адекватно описывающей демографические процессы на каждой конкретной территории, остается проблематичным. Проблемой является и определение погрешности прогнозных



оценок показателей демографических процессов на основе используемых моделей. На момент формирования прогнозных оценок их погрешности неизвестны. Они становятся известными в момент наступления прогнозируемого события. Естественно, полученная оценка погрешности становится неактуальной — факт свершился. Поэтому весьма важно заблаговременно оценить ожидаемую погрешность прогноза демографических показателей.

Как показали исследования, выполненные авторами с использованием информационных возможностей АСУН Московского региона, оценка погрешности моделей (т. е. оценка пригодности той или иной модели для прогноза демографических процессов на перспективный период для данной территории) может быть произведена при наличии на данной территории полнофункциональной ИСУ ПДН (см. рис. 3), в которой реализована модель интеграции персональных данных (см. рис. 2) во взаимосвязи с интеграцией ресурсов (см. рис. 1) по основным факторам, влияющим на демографические процессы.

Рассмотрим сущность подхода на примере оценки достоверности некоторой обобщенной математической модели F_k , планируемой к применению для прогноза ожидаемых значений показателей демографического процесса на данной территории [16]. Принимаем, что в составе ИСУ ПДН за интервал времени ее эксплуатации $[t_0, t_n]$ на данной территории сформированы персональные данные, позволяющие оценить значение соответствующего j -го демографического показателя $\Pi_j^{\text{факт}}(t_i)$ на момент времени $t_i, \forall t_i \in [t_0, t_n]$. Такими показателями могут быть численность наличного населения, средний возраст, соотношение трудоспособного и нетрудоспособного населения и др.

Считая демографическую ситуацию на момент времени t_0 базисной, получаем с помощью анализируемой (аттестуемой) математической модели F_k прогнозную оценку j -го демографического показателя на момент времени t_i :

$$\Pi_j^{\text{прогн}}(t_i) = F_k(\Pi_j^{\text{факт}}(t_0), t_i). \quad (1)$$

Таким образом, мы смоделировали ситуацию за прошедший период эксплуатации ИСУ ПДН по данной территории и получили значение прогнозной оценки интересующего нас демографического показателя на момент времени t_i .

На основании фактических данных из состава ИСУ ПДН на момент времени t_i получаем действительное значение j -го демографического показателя $\Pi_j^{\text{факт}}(t_i)$ и значение методической погреш-

ности его прогнозной оценки на интервале времени $[t_0, t_i]$, полученной в результате применения аттестуемой модели F_k :

$$\Delta \Pi_j(t_0, t_i) = \Pi_j^{\text{прогн}}(t_i) - \Pi_j^{\text{факт}}(t_i) \quad (2)$$

или

$$\delta \Pi_j[t_0, t_i] = \frac{\Delta \Pi_j[t_0, t_i]}{\Pi_j^{\text{факт}}(t_i)}.$$

Полученные значения погрешностей (2) позволят сделать вывод о целесообразности или нецелесообразности использования аттестуемой математической модели F_k для прогнозных оценок j -го демографического показателя применительно к конкретной территории.

Возможность оценки достоверности математических моделей позволяет формировать математические модели, адаптивно отражающие реальные демографические процессы, протекающие на конкретной территории в зоне действия ИСУ ПДН [12]. По своей сути такие модели являются эмпирическими, аппроксимирующими показатели реальных демографических процессов.

В основе концепции формирования таких адаптивных математических моделей положено свойство инерционности демографических процессов, исключающих скачкообразные изменения демографических показателей при обычном развитии событий (в отсутствие катастроф, стихийных бедствий и т. п.). Опуская тривиальные, но громоздкие процедуры формирования эмпирических математических моделей, принимаем, что на основе анализа реальных изменений демографических показателей на интервале времени предшествующей эксплуатации ИСУ ПДН $[t_0, t_n]$ сформирована аналитическая функция φ_j , аппроксимирующая закономерность реального изменения j -го демографического показателя на интервале времени $[t_0, t_n]$. Погрешности сформированной аппроксимирующей функции φ_j для любой точки t_i в интервале $[t_0, t_n]$ и ее пригодность для прогноза развития данного процесса определяются по формулам (2). Исходя из принципа инерционности и непрерывности демографических процессов, закономерность φ_j изменения j -го демографического показателя экстраполируется на упреждающий прогнозный интервал $[t_n, t_m]$, где $t_m \leq 2t_n$. Тогда для любого заданного упреждающего момента времени $t_s, \forall t_s \in [t_n, t_m]$, с помощью экстраполяции по аппроксимирующей функции φ_j получаем прогноз-

ную оценку значения j -го демографического показателя:

$$P_j^{\text{прогн}}(t_s) = \varphi_j(\Omega, \Psi, t_s), \quad (3)$$

где Ω — вектор, отражающий совокупность фактических значений j -го демографического показателя на интервале времени $[t_0, t_n]$, экстраполированный на прогнозный интервал $[t_n, t_m]$; Ψ — вектор, отражающий совокупность значений параметров социально-экономических и других факторов, влияющих на изменение значения оцениваемого j -го демографического показателя, а также отражающий степень влияния каждого воздействующего фактора [6, 7].

Для необходимой достоверности указанного метода прогнозных оценок (3) следует учитывать ряд существенных обстоятельств при формировании аппроксимирующих математических моделей φ_j . С позиций метрологии население представляет собой специфический многопараметровый объект [2, 6]. Процедура определения текущих значений его показателей может быть интерпретирована как процедура специфических многопараметровых измерений, а ИСУ ПДН — как специфическая многопараметровая измерительная система [7].

Достоверность прогноза зависит от полноты учета влияющих факторов, воздействующих на состояние населения [6], и процесс формирования аппроксимирующей функции φ_j может потребовать нескольких итераций. После каждой итерации оценивается погрешность согласно формулам (1) и (2). В случае неприемлемых значений погрешностей в функцию φ_j вносятся дополнительные параметры, учитывающие дополнительные факторы Ψ , влияющие на значение j -го демографического показателя.

Следующее обстоятельство, которое подлежит учету при формировании аппроксимирующей функции φ_j по j -му демографическому показателю, состоит в разной степени влияния воздействующих факторов. С позиций метрологии и методов синтеза многопараметровых измерительных систем [4–7] это обстоятельство можно учесть с помощью весовых коэффициентов (частных производных функции φ_j по каждому воздействующему фактору). Процедура учета влияющих факторов в составе аппроксимирующей функции φ_j , исходя из обеспечения заданной точности прогнозных оценок, аналогична процедуре синтеза многопараметровых АИС по критерию точности [7]. В качестве частных критериев точности здесь должны рассматриваться частные погрешности, обусловленные неполнотой учета соответствующего влияющего фактора.

Определенную сложность в оценке весовых коэффициентов (частных производных), характеризующих влияние каждого воздействующего фактора Ψ на достоверность оценки значения j -го демографического показателя, составляет инерционность демографических процессов. Результаты от воздействия влияющих факторов (например, изменение уровня рождаемости, смертности, среднего возраста, числа заключаемых браков и др.) проявляется со значительным запаздыванием от начала соответствующих воздействий (экономического стимулирования рождаемости, улучшения жилищных условий, улучшения качества медицинского обслуживания и т. п.). Значения весовых коэффициентов (частных производных) по влияющим факторам в этом случае могут быть установлены методом экспертных оценок на интервале времени эксплуатации $[t_0, t_1]$ и проверены на следующем интервале $[t_1, t_n]$ такой же длительности.

Таким образом, при наличии на территории соответствующей ИСУ ПДН, построенной описанным способом, и при наличии в составе ИСУ ПДН сведений о населении за период $[t_0, t_n]$ ее эксплуатации, можно обеспечить требуемую точность прогнозных оценок развития демографических процессов и создать необходимые предпосылки для эффективного управления этими процессами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рамки журнальной публикации не позволяют более детально рассмотреть все аспекты затронутой проблемы повышения достоверности данных о населении территорий, методы повышения достоверности прогнозных оценок развития демографических процессов на упреждающий прогнозный интервал и возможность создания на их основе предпосылок для более эффективного управления социально-экономическими и демографическими процессами на территориях в составе России. Поэтому авторы ограничились изложением некоторых важных, концептуальных положений, призванных обеспечить решение затронутой комплексной проблемы. В стороне оказался ряд важных аспектов методического, законодательного и организационного обеспечения, без решения которых невозможно достичь высокой достоверности данных о населении.

В заключение сделаем следующие выводы.

Само по себе формирование информационных ресурсов по направлениям деятельности субъектов управления и хозяйствующих субъектов на соответствующих территориях не даст должного эффекта без их интеграции и динамической взаимосвязи.



Ключевой вопрос формирования достоверных сводных персональных данных населения территорий состоит в их интеграции и обеспечении взаимной актуализации.

Наиболее рациональным вариантом создания интегрированной системы учета персональных данных населения территорий в составе России (как показал опыт исследований, проведенных авторами на базе АСУН Московского региона) следует считать совокупность автономных специализированных свободно развивающихся АИС, объединенных в информационную сеть по технологии SOA с использованием шины ESB и обмена данными в формате XML-сообщений.

Базисными при создании интегрированной сети учета персональных данных населения следует считать автоматизированные системы адресного регистрационного учета граждан (аналоги АСУН), которые обеспечивают охват всего наличного населения территории. Подобной системой может стать создаваемая в Федеральной миграционной службе МВД России Государственная информационная система миграционного учета, если в ней будут реализованы рассмотренные в данной работе концептуальные принципы построения, технологии и регламенты.

ЛИТЕРАТУРА

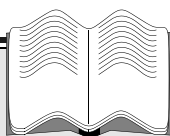
1. *Автоматизированная информационная система «Население-Москва»*. — М.: НПО «АСУ-Москва», 1989.
2. *Страхов А.Ф., Страхов О.А.* Государственный регистр населения. Проблемы и решения. — М.: НЕЛА информ, 2004. — 311с.
3. *Страхов О.А.* Территориально распределенная информационная система учета населения Московского региона:

автореф. дис. канд. техн. наук. — М.: ЗАО МКБ «Параллель», 1998.

4. *Страхов А.Ф.* Автоматизированные измерительные комплексы. — М.: Энергоиздат, 1982.
5. *Страхов А.Ф.* Автоматизированные антенные измерения. — М.: Радио и связь, 1985.
6. *Страхов А.Ф.* Многопараметровые объекты и многопараметровые измерения // Измерительная техника. — 2004. — № 11. — С. 11—14.
7. *Страхов А.Ф.* Многопараметровые измерительные системы // Измерительная техника. — 2005. — № 4. — С. 3—7.
8. *Пат. № 2219572 РФ.* Способ контроля и диагностики функционально сложных объектов / А.Ф. Страхов, Е.П. Палькеев, О.А. Страхов // Бюл. — 2003. — № 3.
9. *Пат. № 2220435 РФ.* Способ синтеза многопараметровых автоматизированных измерительных систем / А.Ф. Страхов, О.А. Страхов // Бюл. — 2003. — № 36.
10. *Пат. № 2222865 РФ.* Автоматизированный диагностический комплекс / А.Ф. Страхов, Е.П. Палькеев, О.А. Страхов // Бюл. — 2004. — № 3.
11. *Жихарев А.П.* Автоматизированные информационные системы и ресурсы города Москвы. — М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2006. — 255 с.
12. *Алешкин Е.Ф.* Информационная сеть автоматизированной системы учета персональных данных населения административного округа города Москвы: автореф. дис. канд. техн. наук. — МИЭМ, 2006.
13. *Страхов А.Ф.* Концепция создания интегрированной системы учета населения. — М.: Компьютер, 1998.
14. *Dave Chappel.* Enterprise Service Bus. — O'Reilly, 2004.
15. *Тревис Б.* XML и SOAP: программирование для серверов Vix Talk. — М.: Издательско-торговый дом «Русская редакция», 2001.
16. *Тихомиров Н.П.* Демография. Методы анализа и прогнозирования. — М.: Экзамен, 2005.

☎ (095) 140-88-91, 140-64-66,
e-mail: sheglova-1961@rambler.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии В.Н. Новосельцевым. □



Вышел в свет сборник трудов первой международной конференции «УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ» MLSD'2007

(1—3 октября 2007 г.)

под редакцией академика РАН С.Н. Васильева и д-ра техн. наук А.Д. Цвиркуна.

Представлены труды по следующим тематическим направлениям:

- 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.

Конференция проведена при поддержке РФФИ (проект № 07-07-06042-г).

По вопросам приобретения сборника обращайтесь по тел. (495) 334-90-50, e-mail: kuzn@ipu.ru

Оргкомитет конференции

РАЗРЫВЫ ЦЕН АКЦИЙ ФОНДОВОГО РЫНКА: КЛАССИФИКАЦИЯ И СВОЙСТВА

А.Г. Спиро

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

Рассмотрен эффект «разрыва цены» котировок акций в начале торговой сессии на фондовой бирже. Дана классификация разрывов, рассмотрены их основные свойства и предложено математическое описание. Приведен пример анализа разрывов цен котировок акций Газпрома при торговле ими на площадке фондовой биржи «Российская торговая система» за выбранный период.

ВВЕДЕНИЕ

Современное рыночное хозяйство включает в себя фондовый рынок как неотъемлемую часть развивающейся экономики. Одновременно фондовый рынок представляет собой динамическую систему, основная функция которой — достижение равновесия между спросом и предложением акций фондового рынка путем изменения их рыночной цены.

В этом смысле фондовый рынок может служить индикатором экономики, что особенно важно для формирующихся, растущих мировых рынков, к которым относится также и финансовый рынок России [1]. Для фондовых рынков всегда была весьма актуальной задача определения динамики курсовой стоимости акций при обнаружении предвестников изменений их цены [2], к которым можно отнести «разрывы» цены акции.

Разрыв цены представляет собой мгновенный скачок цены вверх или вниз как в начале торговой сессии, так и в ее пределах. В статье рассматривается методика анализа разрывов в начале торговой сессии (при ее открытии), приведена классификация таких разрывов и проанализированы их свойства. Разрывы присущи работе всех фондовых бирж мира. В государствах с устоявшейся рыночной экономикой они случаются значительно реже, например, на фондовых биржах NYSE и NASDAQ в США. Что касается валютного рынка Forex, то там разрывы возникают крайне редко, как правило, после длительных праздников, когда коренным образом меняется фон новостей [3, 4]. Разрывы

визуально могут быть определены на дневных графиках биржевой торговли, представляемых только барами или японскими свечами [5]. В литературе вопросам разрывов цен котировок в начале торговой сессии уделено мало внимания, что и побудило автора рассмотреть этот вопрос применительно к фондовому рынку России.

1. ОСНОВНЫЕ СООТНОШЕНИЯ

Разрыв $G(T)$ цены для дневных графиков торговли на интервале времени T определяется как

$$G(T) = C_0(T) - C_3(T-1), \quad (1)$$

где $C_0(T)$ — цена при открытии торговой сессии на интервале T (например, сегодня), $C_3(T-1)$ — цена при ее закрытии на интервале $T-1$ (вчера). Относительное значение разрыва определяется как

$$\gamma(T) = (C_0(T)/C_3(T-1)) - 1. \quad (2)$$

Для представления последовательности разрывов цен за выбранный период (месяц, год и т. д.) представим соотношения (1) и (2) в несколько ином виде:

$$G(T-j) = C_0(T-j) - C_3(T-(j+1))$$
$$\text{и } \gamma(T-j) = (C_0(T-j)/C_3(T-(j+1))) - 1, \quad (3)$$

где $j = \{0, k-1\}$, k — число котировок за выбранный период.

Скачки цен происходят при открытии торговой сессии и могут определять направления движения цен в течение всей торговой сессии, что очень



важно для участников биржевой торговли. Изменение цены на интервале T определим следующим образом:

$$M(T) = C_3(T) - C_0(T), \quad (4)$$

где C_3 и C_0 — цены при закрытии и открытии на интервале T . Относительное изменение цены на интервале T определим как

$$\mu(T) = M(T)/C_3(T-1). \quad (5)$$

Для последовательности, состоящей из k котировок, выражение (5) представим следующим образом:

$$\mu(T-j) = M(T-j)/C_3(T-(j+1)), \quad (6)$$

где $j = \{0, k-1\}$, k — число котировок за выбранный период.

2. КЛАССИФИКАЦИЯ РАЗРЫВОВ И ИХ СВОЙСТВА

Классифицировать разрывы цен при открытии торговой сессии можно по направлению разрыва, его значению и по виду его закрытия.

По направлению разрывы можно разделить на два вида — направленные на увеличение цены (вверх) и направленные на уменьшение цены (вниз). Разрывы вверх характерны для оптимистического настроения инвесторов и благоприятных новостей. Разрыв цены вниз, наоборот, характеризует пессимистический настрой и отрицательные новости.

По значению разрывы можно разделить на экстремальные и неэкстремальные. Экстремальный разрыв вверх — это такой разрыв, когда цена открытия $C_0(T)$ выше максимальной цены $C_{\max}(T-1)$ предыдущей торговой сессии, в противном случае разрыв считается неэкстремальным. Экстремальным разрывом вниз считается разрыв, когда цена открытия $C_0(T)$ лежит ниже минимальной цены $C_{\min}(T-1)$ предыдущей торговой сессии, в противном случае разрыв считается неэкстремальным. Для данных видов разрывов можно записать следующие соотношения:

— экстремальный разрыв вверх

$$\gamma(T) > 0, \quad C_0(T) \geq C_{\max}(T-1); \quad (7)$$

— неэкстремальный разрыв вверх

$$\gamma(T) > 0, \quad C_0(T) < C_{\max}(T-1); \quad (8)$$

— экстремальный разрыв вниз

$$\gamma(T) < 0 \text{ и } C_0(T) \leq C_{\min}(T-1); \quad (9)$$

— неэкстремальный разрыв вниз

$$\gamma(T) < 0, \quad C_0(T) > C_{\min}(T-1). \quad (10)$$

Практика биржевой торговли [4] показывает, что разрывы имеют свойство «закрываться» после их возникновения, т. е. цена акции может возвращаться к первоначальной цене до скачка. Будем различать три вида закрытия разрывов, в соответствии с которыми будем различать и виды разрывов. Полное закрытие, когда происходит возврат к цене первоначальной или ниже (выше) в зависимости от вида разрыва (вверх или вниз). Частичное закрытие, когда цена не возвращается к первоначальной, но и не растет (падает) выше (ниже) значения разрыва цены. Продолженный вид закрытия — это закрытие выше разрыва вверх и ниже при разрыве вниз.

Условия полного или частичного закрытия разрыва цены можно записать в виде следующих неравенств:

— для разрыва вверх

$$\gamma(T) > 0, \quad \mu(T) \leq 0; \quad (12)$$

— для разрыва вниз

$$\gamma(T) < 0, \quad \mu(T) \leq 0. \quad (13)$$

Если $|\gamma(T)| < |\mu(T)|$, то имеет место частичное закрытие, при $|\gamma(T)| \geq |\mu(T)|$ — полное.

Для продолженного вида закрытия можно записать следующие соотношения:

— для разрыва вверх

$$\mu(T) - \gamma(T) \geq 0, \quad \mu(T) > 0, \gamma(T) > 0; \quad (14)$$

— для разрыва вниз

$$\mu(T) - \gamma(T) \leq 0, \quad \mu(T) < 0, \gamma(T) < 0. \quad (15)$$

Один из существенных вопросов при рассмотрении разрыва котировок состоит в определении зависимости разрыва от изменения относительной цены акции в торговый день, предшествующий разрыву, и цены акции в следующий день после разрыва. С целью получения ответа на этот вопрос предлагается использовать коэффициент корреляции ρ между последовательностями (3) и (6).

Для определения зависимости относительного значения разрыва от относительной стоимости акции предыдущего дня перед разрывом можно воспользоваться формулой

$$\rho_{\mu, \gamma} = \text{cov}(\gamma(T-j), \mu(T-(j+1)))/\sigma_{\gamma}\sigma_{\mu}, \quad (16)$$

где $j = \{0, k-1\}$, k — число котировок за выбранный период, $\text{cov}(\gamma, \mu)$ функция ковариации, σ_{γ} и σ_{μ} — среднеквадратические отклонения, а для определения зависимости относительной стоимости

акции последующего дня от относительного значения — формулой

$$\rho_{\gamma, \mu} = \text{cov}(\gamma(T-j), \mu(T-j)) / \sigma_{\gamma} \sigma_{\mu}. \quad (17)$$

Соотношения (1)–(17) позволяют определить число разрывов и их свойства для последовательности котировок за исследуемый период.

3. СТРАТЕГИЯ ТОРГОВЛИ НА БИРЖЕ С УЧЕТОМ РАЗРЫВА ЦЕН КОТИРОВОК

Торговая стратегия при работе на бирже сводится к двум основным сценариям [5]:

— биржевой игрок находится в «длинной» позиции, т. е. к моменту появления разрыва он уже приобрел акции, надеясь получить доход благодаря росту их цены;

— биржевой игрок находится в «короткой» позиции, т. е. к моменту появления разрыва он продал взятые в долг у брокерской компании акции по текущей цене, надеясь получить доход благодаря падению цены и возврату брокерской компании более дешевых акций.

В обоих сценариях существенен депозит, затраченный на вход в рынок в $(T-j)$ -м интервале и выход из него в интервале T .

Депозит при входе может быть определен следующим образом:

$$D_{\text{вх}}(T-j) = P_{\text{вх}}(T-j)N(1+k_{\text{и}}), \quad (18)$$

где $P_{\text{вх}}(T-j)$ — цена одной акции, приобретенной в предшествующие разрыву интервалы времени, N — число акций выбранного эмитента, $k_{\text{и}}$ — коэффициент, учитывающий издержки биржевой торговли.

При выходе из «длинной» позиции в момент открытия биржевой сессии (интервал T) при наличии разрыва цены выходной депозит:

$$D_{\text{вых}}(T) = k_{\text{д}} D_{\text{вх}}(T-j) / (1+k_{\text{и}}). \quad (19)$$

Коэффициент $k_{\text{д}}$ при закрытии «длинной» позиции для получения прибыли должен быть больше единицы и определяется следующим образом:

$$k_{\text{д}} = P_3(T-1) / P_{\text{вх}}(T-j) + G(T) / P_{\text{вх}}(T-j). \quad (20)$$

Второе слагаемое как раз и определяет размер депозита при выходе из торговой позиции с учетом разрыва цены котировки.

При закрытии «короткой» позиции коэффициент $k_{\text{д}}$ для получения прибыли должен быть меньше единицы и определяется соотношением

$$k_{\text{д}} = 1 - P_3(T-1) / P_{\text{вх}}(T-j) + G(T) / P_{\text{вх}}(T-j). \quad (21)$$

При закрытии «короткой» позиции выходной депозит определяется следующим образом:

$$D_{\text{вых}}(T) = (1+k_{\text{д}}) D_{\text{вх}}(T-j) / (1+k_{\text{и}}). \quad (22)$$

Из соотношений (18)–(22) видно, что определяющим фактором для основных характеристик биржевой торговли выступает коэффициент $k_{\text{д}}$, который зависит, в частности, от значения разрыва котировки в начале сессии.

Непрерывно отслеживая коэффициент $k_{\text{д}}$ на всех периодах от $(T-j)$ до T , целесообразно при максимальных его значениях закрывать позиции для получения максимальной прибыли.

Очевидно, что никаких универсальных рецептов по выбору торговой стратегии предложить невозможно. Однако в дополнение к существующим методам учет разрывов котировок в начале торговой сессии позволяет иногда предсказать движение цен внутри интервала T .

Например, учитывая, что разрывы цен в начале торговой сессии внутри интервала могут закрываться, игрок может применять следующую стратегию торговли — использовать «короткие» позиции при скачках вверх и «длинные» при скачках вниз. Как правило, все торговые системы разрабатываются на основе учета исторических данных по котировкам акций того или иного эмитента за определенный период. Это позволяет выявить характерные особенности котировок — наличие разрывов цен, их число, направление движения и т. п.

В качестве подтверждения полезности приведенной классификации разрывов и учета их свойств в таблице приведены характеристики разрывов цен, полученные из последовательности котировок обыкновенных акций «Газпрома» (тиккер GSPBEX) на фондовой бирже «Российская торговая система» за период с 21.01.2006 по 22.03.2007 г.

По результатам анализа данных, приведенных в таблице, можно сделать следующие выводы:

— рассмотренный период можно характеризовать как умеренно оптимистический, так как отношение числа разрывов вверх к общему числу разрывов несколько превышает отношение числа разрывов вниз к общему их числу — 57,65 и 42,35 % соответственно;

— процент торговых сессий с разрывом котировок в начале торговой сессии достаточно высок и составляет более 97 % (281 случай из 289);

— доли полного закрытия разрывов при разрывах вверх и вниз близки и составляют соответственно 51 и 52 % разрывов;

— процент экстремальных и неэкстремальных разрывов при росте цены составляет 33,3 и 66,7 %, а при падении цены — 29,41 и 70,59 % соответственно;



Характеристики разрывов цен, полученные из котировок акций «Газпрома»

Число дней (период)	Общее число разрывов		Коэффициент корреляции	Коэффициент корреляции
	Вверх	Вниз	по формуле (16)	по формуле (17)
289	162	119	0,196761	−0,17047
Характеристики разрывов «вверх»				
Число разрывов с закрытием			Число разрывов	
полным (А)	частичным (Б)	продолженным (В)	экстремальных (Г)	неэкстремальных (Д)
82	23	57	54	108
Характеристики разрывов «вниз»				
А	Б	В	Г	Д
62	46	11	35	84
Характеристики разрывов продолженного типа				
Вверх		Вниз		
Закрытие разрыва				
выше экстремального	выше неэкстремального		ниже экстремального	ниже неэкстремального
25	32		7	4

— торговая стратегия участников рынка, учитывающая экстремальные разрывы в начале торгов, не столь продуктивна, как это многие считают [4]; так, она дает положительные результаты в 46,29 % случаях при разрывах «вверх» (отношение числа продолженных закрытий разрыва после экстремальных разрывов к общему числу продолженных закрытий) и лишь 20 % — для разрывов «вниз».

тических и экономических событий, происходящих в мире, отдельных государствах и крупных компаниях. Искусство безубыточной торговли сводится к возможности предсказания событий и их учету в своей торговой стратегии наряду с известными методами фундаментального и технического анализа.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Игроки на фондовом рынке, естественно, преследуют основную цель — получить прибыль. В зависимости от стратегии их можно разделить на три большие группы. Одна из них работает на больших, долгосрочных интервалах времени (месяцы, годы), вторая группа — на среднесрочных интервалах (неделя, месяц) и, наконец, последняя из них — на краткосрочных интервалах (дни, часы). Первая группа представляет собой инвесторов, которые покупая акции, увеличивают капитализацию тех или иных компаний. Вторую и третью группы составляют спекулянты. Они многократно покупают и продают акции и тем самым пытаются получить прибыль. Именно им очень важно отслеживать и использовать разрывы цен. Конечно, разрывы и их размеры во многом зависят от поли-

ЛИТЕРАТУРА

1. Миркин Я.М. Рынок ценных бумаг России: Воздействие фундаментальных факторов, прогноз и политика развития. — М.: Альпина Паблишер, 2002. — 622 с.
2. Клепарский В.Г., Ефремов В.А. Мультифрактальность, диссипация и устойчивость среднесрочных трендов на фондовом рынке // Проблемы управления. — 2003. — № 4. — С. 36—38.
3. Мамчи Ц.Р. Гэпы: друг или враг трейдера? // Валютный спекулянт. — 2002. — № 10. — С. 46—49.
4. Твардовский В., Паршиков С. Секреты биржевой торговли. — М.: Альпина Паблишер, 2003. — 549 с.
5. Нисон С. Японские свечи: графический анализ финансовых рынков. — М.: Евро, 2004. — 347 с.

☎ (495) 334-93 09, e-mail : spiro@ipu.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.А. Дорофеевом.



МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО РЕГРЕССИОННОГО ОЦЕНИВАНИЯ

Е.К. Корноушенко

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

Предложен подход, ориентированный на случай неоднородных выборок, когда исходная выборка наблюдений (объектов) «разваливается» на классы, отличающиеся существенно разными значениями зависимой переменной (но не регрессоров) и достаточно представительные для построения в каждом из них какой-либо регрессионной модели. На практическом примере показано, как предложенный подход позволяет улучшить качество оценивания по сравнению с традиционным регрессионным подходом.

ВВЕДЕНИЕ

Широкое применение регрессионного оценивания в практических задачах обусловлено чисто экономическими причинами: при наличии больших совокупностей оцениваемых объектов дешевле потратить средства на оценку объектов, образующих обучающую выборку, и построение регрессионных моделей, которые далее используются для оценки остальных объектов, нежели оценивать индивидуально каждый объект исходной совокупности. На практике такой подход получил название *массовой оценки*. Благоприятным полем для широкого применения методов массовой оценки оказались разнообразные объекты недвижимости (квартиры, дома, земельные участки и др.). Различные аспекты применения регрессионных моделей для оценки объектов недвижимости подробно освещены в книге Дж. Эккерта [1]. Американской Ассоциацией налоговых оценщиков (AIAA) выпущен ряд стандартов по различным вопросам оценки объектов недвижимости, в частности, стандарт по построению регрессионных моделей для массовой оценки объектов недвижимости [2]. Весьма показательным в этом плане решение Правительства Москвы о проведении в ближайшие годы массовой оценки всех объектов недвижимости г. Москвы в рамках перехода на новую систему налогообложения.

В настоящее время имеется ряд статистических и вычислительных пакетов, содержащих компьютерные программы построения регрессионных моделей различного вида (упомянем лишь обще-

известные пакеты STATISTICA, SPSS, NCSS, MATLAB). Однако для практического применения регрессионного подхода к массовой оценке тех или иных объектов оказывается полезным ряд приемов, не отраженных в этих пакетах и являющихся следствием накопления практического опыта построения и применения регрессионных моделей. Цель настоящей статьи состоит в обсуждении этих приемов и целесообразности их применения в практических задачах массовой оценки.

Предлагаемый в работе подход к регрессионному оцениванию ориентирован на работу с неоднородными выборками, когда вариационный ряд по значениям зависимой переменной, построенный по исходной выборке наблюдений, имеет существенно нелинейный характер. В таких случаях исходную выборку наблюдений можно представить в виде объединения нескольких классов, отличающихся существенно разными значениями зависимой переменной (но не регрессоров) и достаточно представительных для построения в каждом из них какой-либо регрессионной модели. Процедура оценивания в этом случае включает в себя этап классификации (отнесения оцениваемого объекта к тому или иному классу выборки) и этап собственно оценивания с использованием соответствующей регрессионной модели для этого класса.

С методологической точки зрения такой подход к оцениванию можно рассматривать как одну из конкретных реализаций подхода с применением композиций алгоритмов [3]. «Сочленение» построенных моделей для классов в единую модель названо составной моделью. На примере массовой оценки земельных участков промышленного на-



значения Подмоскovie показано, что использование составных моделей позволяет улучшить качество оценивания по сравнению с традиционным регрессионным подходом.

1. ИСХОДНЫЕ ДОПУЩЕНИЯ

Будем считать, что предметом рассмотрения является некоторый класс объектов, описываемых одной и той же совокупностью признаков с разными значениями этих признаков для разных объектов. Под признаками понимаются характеристики (количественные или качественные) объектов (это могут быть описания производимых или продаваемых товаров, характеристики объектов недвижимости и т. п.). Совокупность признаков рассматривается как совокупность «входных» переменных (регрессоров, предикторов) объектов. Для объектов рассматриваемого класса задается «выходная» (зависимая) количественная переменная, в оценке возможных значений которой состоит цель процедуры оценивания. В роли зависимой переменной может выступать прибыль от производства или продажи той или иной партии товара, стоимость объектов недвижимости и т. п. Пары «совокупность известных значений регрессоров — соответствующее значение зависимой переменной» называются *наблюдениями*. Исходной информацией служит некоторая совокупность наблюдений, называемая *выборкой*.

Сложность задачи массовой оценки объектов состоит в том, что:

- функциональная зависимость зависимой переменной от наблюдаемых признаков (регрессоров) аналитику неизвестна;
- при оценке объектов из различных областей некоторого ареала внутри рассматриваемого класса эта зависимость может быть существенно различной по характеру;
- характер случайных добавок к значениям зависимой переменной, обусловленных влиянием неизмеримых признаков, также неизвестен.

В такой ситуации при массовой оценке объектов аналитику необходимо последовательно пройти ряд этапов, связанных со сбором и предварительной обработкой исходной информации об оцениваемых объектах, формированием обучающей и контрольной выборок, выбором типа модели и ее калибровкой, оценкой качества построенной модели.

Ряд этапов из этой последовательности типичны для построения регрессионных моделей и в комментариях не нуждаются. Как уже было сказано, предмет нашего внимания — практические приемы, применяемые на некоторых этапах для повышения качества строящихся моделей оценки.

2. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ОДНОНАПРАВЛЕННОСТИ «В СРЕДНЕМ» ВЛИЯНИЙ РЕГРЕССОРОВ НА ЗАВИСИМУЮ ПЕРЕМЕННУЮ НА ОБУЧАЮЩЕЙ ВЫБОРКЕ

Будем считать, что исходная выборка подверглась проверке на полноту и репрезентативность входящих в нее наблюдений и предварительному статистическому анализу и из нее выделены обучающая выборка (на объектах которой строится модель) и контрольная выборка, на объектах которой проверяется качество оценки построенной модели. Один из первых описываемых далее практических приемов заключается в обеспечении *однаправленности «в среднем» влияний регрессоров на зависимую переменную на обучающей выборке*. Обеспечение такой однаправленности влияний регрессоров на зависимую переменную уменьшает взаимную компенсацию таких влияний, что приводит к увеличению чувствительности зависимости переменной к совокупным изменениям значений регрессоров и, соответственно, к улучшению качества модели.

Решение этой задачи начинается с рассмотрения качественных регрессоров, значения которых определены либо в числовом виде как некоторые служебные коды (например, тип водоснабжения, тип фундамента и т. п.), либо словесно (например, тип стен — панельные, кирпичные и др.). Процедуру оцифровки значений качественных регрессоров, при которой обеспечивается однаправленность «в среднем» влияний регрессоров на зависимую переменную, называют процедурой *приписывания меток*. У американских оценщиков подобная (в принципе, существенно нелинейная, как показано далее) процедура получила название *процедуры линеаризации*.

Суть процедуры приписывания меток состоит в том, что для каждого значения (числового или словесного) выбранного качественного регрессора формируется совокупность значений зависимой переменной, соответствующих тем объектам обучающей выборки, у которых этот регрессор принимает рассматриваемое значение. Для каждой такой совокупности значений зависимой переменной находится среднее значение, которое затем нормируется путем деления на медианное (или среднее) значение множества этих средних. Результирующие значения («метки») приписываются соответствующим значениям рассматриваемого качественного регрессора. Из того факта, что большему значению среднего для некоторой совокупности значений зависимой переменной соответствует большее значение метки, следует положительность парных коэффициентов корреляции «помеченных» качественных регрессоров с зависимой переменной (отсюда и термин — однаправленность «в среднем»).

Для количественных регрессоров, имеющих положительные коэффициенты корреляции зависимой переменной, значения количественного регрессора делятся на медиану (среднее) его значений в обучающей выборке, и в качестве меток рассматриваются полученные значения этого регрессора.

Для количественных регрессоров, имеющих отрицательные коэффициенты корреляции с зависимой переменной, исходные значения X_{ks} регрессора X_k переопределяются каким-либо образом для обеспечения положительности этих коэффициентов. В частности, следующим образом:

$$X_{ks}^* = \max(X_k) - X_{ks} + C, \quad (1)$$

где $\max(X_k)$ — максимальное значение регрессора X_k в обучающей выборке, а положительная константа C добавляется, чтобы избежать нулевого значения X_{ks}^* , что недопустимо при построении мультипликативной модели. Далее полученные значения регрессора X_k^* нормируются аналогично предыдущему. Нормированные значения рассматриваются как метки соответствующих исходных значений этого регрессора.

Нормировка «помеченных» качественных, а также количественных регрессоров делается для того, чтобы обеспечить сравнимые диапазоны значений качественных и количественных регрессоров перед построением модели.

Для двоичных регрессоров может оказаться целесообразной следующая процедура приписывания меток.

1. Изначально состояния 0,1 приписываются этим регрессорам таким образом, чтобы коэффициент корреляции каждого двоичного регрессора с зависимой переменной сделать положительным.

2. Двоичные регрессоры с приписанными значениями 0,1 упорядочиваются по возрастанию их коэффициентов корреляции с зависимой переменной.

3. Первый регрессор в этом упорядочении рассматривается как двоичный разряд при 2^0 , второй регрессор — как двоичный разряд при 2^1 , ..., k -й регрессор — как двоичный разряд при 2^k . Таким образом, совокупности k двоичных регрессоров ставится в соответствие так называемый разрядный регрессор с множеством 2^{k+1} значений. Поскольку в исходной выборке могут присутствовать не все комбинации значений двоичных факторов, «реальное» число значений разрядного регрессора может быть меньше числа 2^{k+1} . Так как наименьшим «реальным» значением этого регрессора может быть 0 (что недопустимо при использовании мультипликативных моделей), то ко всем значениям разрядного регрессора добавляется 1.

4. Разрядный регрессор рассматривается как качественный регрессор, и его значениям приписываются метки в соответствии с процедурой приписывания меток значениям качественных регрессоров. ♦

Смысл введения разрядного регрессора в том, что его значения соответствуют существующим в исходной выборке комбинациям значений двоичных регрессоров и именно эти комбинации (а не сами двоичные регрессоры) оказывают существенное влияние на зависимую переменную.

Регрессионная модель выбранного типа строится не на исходных значениях регрессоров, а на метках, приписанных этим значениям. В данной работе рассматриваются простейшие регрессионные модели — линейные и приводимые к линейным, параметры которых вычисляются с помощью обычного метода наименьших квадратов (МНК). Поскольку приписывание меток — существенно нелинейная процедура, она деформирует минимизируемую функцию таким образом, что получаемые МНК-решения определяют модели с улучшенными показателями качества.

3. ОЦЕНКА ОБЪЕКТОВ В УСЛОВИЯХ НЕОДНОРОДНЫХ («ПЛОХИХ») ВЫБОРОК

3.1. Понятие неоднородной выборки

Основная проблема, с которой сталкивается аналитик при построении той или иной модели при массовой оценке объектов, скажем, экономического характера в условиях слабо развитого рынка, заключается в неоднородности выборок, содержащих рыночные данные об объектах, причем эта неоднородность сохраняется после удаления из выборок выбросов и неполных описаний объектов. Нестрого говоря, выборка считается *неоднородной*, если в ней много объектов с одними значениями регрессоров и (или) зависимой переменной и мало объектов с другими значениями. Важно подчеркнуть, что подобной неоднородностью может обладать и генеральная совокупность объектов, обращающихся на данном слабо развитом рынке.

Анализ неоднородной выборки удобно начинать с построения для нее вариационного ряда по возрастанию (или убыванию) зависимой переменной. Для неоднородных выборок график вариационного ряда носит существенно нелинейный характер. Для простоты рассмотрим случай, когда на таком графике явно выражен участок с малым наклоном (пологий участок), участок с большим наклоном (крутой участок). Чтобы избежать резкого скачка в получающихся оценках при переходе от пологого участка к крутому, будем считать, что эти участки пересекаются на некоторой «зоне перекрытия».



В силу существенной нелинейности графика значений зависимой переменной применяемый при построении традиционных регрессионных моделей обычный МНК «сталкивается» с проблемой *одновременной минимизации* квадратов невязок на пологом и на крутом участках графика. При этом результирующее МНК-решение задачи минимизации, оптимальное для всего графика в целом, не оптимально для каждого из этих участков в отдельности. Этот факт послужил отправным моментом для рассматриваемого далее подхода к построению так называемых *составных* моделей оценки, при построении которых производится раздельная минимизация сумм квадратов невязок на пологом и на крутом участках вариационного ряда значений зависимой переменной.

Замечание 1. В принципе, график вариационного ряда может содержать несколько участков с разными наклонами и, соответственно, несколько зон перекрытия. Возможность анализа всех таких участков с целью построения моделей оценки на каждом из участков определяется представительностью (репрезентативностью) соответствующей каждому участку группы рассматриваемых объектов (т. е. возможностью построения на каждом участке статистически значимой модели оценки), что далеко не всегда можно сделать, особенно для слабо развитых рынков с небогатой рыночной информацией. ♦

3.2. Процедура построения составной модели по неоднородной обучающей выборке

Процедура построения составной модели по неоднородной обучающей выборке включает в себя следующие этапы (для простоты рассматриваем два участка).

1. Построение по этой выборке вариационного ряда значений зависимой переменной и выделение на графике вариационного ряда пологого и крутого участков.

2. Переупорядочение объектов обучающей выборки в соответствии со значениями зависимой переменной этих объектов в вариационном ряду.

3. Независимое приписывание меток значениям регрессоров объектов пологого и крутого участков. Это означает, что для регрессоров объектов, принадлежащих пологому (крутому) участку, приписывание меток производится с использованием выборки, составленной из объектов, принадлежащих лишь *рассматриваемому участку*. При этом значениям регрессоров объектов из зоны перекрытия будут приписаны две метки.

4. Построение традиционной регрессионной модели (моделей) для каждого из участков. Обозначим через МП модель оценки, построенную на пологом участке, а через МК — модель оценки, построенную на крутом участке. Составная модель определяется как «сочленение» моделей-компонентов МП и МК, реализуемое по следующему

правилу. Пусть i — текущий номер объекта в исходном вариационном ряду, а МП(i) (или МК(i)) — модельная оценка зависимой переменной i -го объекта, полученная с использованием модели МП (или МК), а МС(i) — соответствующая модельная оценка с использованием составной модели. Тогда:

- если i -й объект принадлежит пологому участку, то МС(i) = МП(i);
- если i -й объект принадлежит зоне перекрытия участков, то в простейшем случае можно считать, что МС(i) = (МП(i) + МК(i))/2. В принципе, возможны и другие правила «сочленения»;
- если i -й объект принадлежит крутому участку, то МС(i) = МК(i). ♦

3.3. Оценка объектов контрольной выборки

При оценке объектов контрольной выборки с помощью составной модели необходимо разрешить две проблемы:

— проблему приписывания меток значениям регрессоров объектов контрольной выборки (поскольку модели, входящие в составную модель, определены на метках значений регрессоров);

— проблему выбора модели (МП или МК, или обеих) для оценки рассматриваемого объекта контрольной выборки. Эта проблема решается путем соотнесения каждому из объектов контрольной выборки некоторого объекта из обучающей выборки, положение которого в упорядоченной совокупности объектов согласно вариационному ряду сразу указывает, какая модель должна быть выбрана. ♦

3.3.1. Приписывание меток значениям регрессоров объектов контрольной выборки

Замечание 2. Для корректности приведенной далее процедуры приписывания меток необходимо выполнение для объектов контрольной выборки следующих условий:

— каждое значение (числовое или словесное) всякого качественного регрессора должно присутствовать у каких-либо объектов обучающей выборки;

— каждое значение всякого количественного регрессора должно принадлежать диапазону значений соответствующего количественного регрессора в обучающей выборке. ♦

Качественные регрессоры

Для каждого значения качественного регрессора объектов контрольной выборки находится совпадающее с ним исходное значение соответствующего регрессора из объектов обучающей выборки, и метка этого значения переносится на рассматриваемое значение качественного регрессора. Если такое совпадающее значение принадлежит и пологому, и крутому участкам (так что оно имеет две метки), то соответствующему значению регрессора

в контрольной выборке приписываются обе метки. При невыполнении требований замечания 2 для рассматриваемого значения качественного регрессора необходимо привлечение дополнительной информации для обоснования ближайшего к нему исходного значения соответствующего регрессора из объектов обучающей выборки, и метка (метки) этого ближайшего значения переносится на рассматриваемое значение аналогично предыдущему.

Количественные регрессоры

Если данный количественный регрессор без приписанных меток положительно коррелирует с зависимой переменной на обучающей выборке, то для каждого значения этого регрессора у объектов контрольной выборки находится ближайшее к нему исходное значение соответствующего регрессора из объектов обучающей выборки, и метка (метки) этого значения переносится на рассматриваемое значение количественного регрессора.

Если данный количественный регрессор без приписанных меток отрицательно коррелирует с зависимой переменной на обучающей выборке, то исходные значения данного регрессора на контрольной выборке переопределяются по аналогии с формулой (1), причем значения $\max(X_k)$ берется то же, что и для объектов обучающей выборки. Переопределенным значениям этого регрессора метки приписываются так, как указано в предыдущем пункте.

3.3.2. Соотнесение объектам контрольной выборки объектов из обучающей выборки

Ключевой момент при использовании составных моделей состоит в выборе для каждого объекта контрольной выборки модели МП или МК, с помощью которой будет оцениваться зависимая переменная этого объекта. Поскольку при этом каждый объект контрольной выборки необходимо отнести либо к пологому, либо к крутому участку вариационного ряда, то данная задача представляет собой, фактически, задачу классификации (для корректности постановки задачи классификации зона перекрытия относится к пологому участку).

Очевидным решением представляется нахождение для каждого объекта контрольной выборки ближайшего (по исходным значениям факторов или по меткам) объекта из обучающей выборки, т. е. применение в качестве алгоритма классификации правила наименьшего расстояния между объектами (см. например, работу [4]). В данном случае такой алгоритм дает плохие результаты, поскольку все регрессоры здесь выступают «на равных», в то время как значения качественных регрессоров и двоичных регрессоров, присутствующие у объектов и пологого, и крутого участков, существенно ухудшают результаты такой классификации. По этой же причине и логистическая модель [5] может не обеспечить приемлемое качес-

тво классификации. Именно этот факт указывает на то, что при разработке алгоритма классификации необходимо использовать то свойство, что разные значения регрессоров в упорядоченной совокупности объектов вариационного ряда ведут себя по-разному на пологом и крутом участках. В формальном плане понятие «по-разному» означает несимметричность распределения значений рассматриваемого регрессора на объектах пологого и крутого участков вариационного ряда. Для количественной оценки такой несимметричности можно воспользоваться соотношениями между числами вхождений того или иного значения рассматриваемого регрессора в описания объектов пологого и крутого участков. Чем больше разность между этими числами для некоторого значения рассматриваемого регрессора, тем больше *степень информативности* этого значения.

При этом процедура соотнесения объектам контрольной выборки объектов из обучающей выборки выглядит следующим образом.

1. Выбирается первый объект из контрольной выборки. Значения всех его регрессоров упорядочиваются по убыванию их степени информативности (исходное упорядочение для выбранного объекта).

2. Выбирается первый регрессор в этом упорядочении и формируется группа объектов из обучающей выборки с тем же (или ближайшим) значением этого регрессора, что и у рассматриваемого объекта.

3. Из этой группы выделяется подгруппа объектов с тем же (или ближайшим) значением регрессора, следующего в исходном упорядочении.

4. Процесс выделения следующей подгруппы из предыдущей с учетом значения очередного в исходном упорядочении регрессора продолжается до выполнения какого-либо из следующих условий:

- следующая подгруппа содержит единственный объект из обучающей выборки, принадлежность которого к какому-либо участку (или к зоне перекрытия) известна априори в силу единственности отнесения объектов вариационного ряда к тому или иному участку;

- завершен перебор всех факторов стоимости в исходном упорядочении. Если при этом последняя рассматриваемая подгруппа содержит объекты, относящиеся к пологому участку, и объекты, относящиеся к крутому участку, то процесс классификации считается незавершенным, а исходная совокупность регрессоров — недостаточной для требуемой классификации. В этом случае требуется привлечение дополнительных признаков (регрессоров) для описания объектов исходной выборки.

При выполнении первого из этих условий — переход к следующему объекту контрольной выборки и повторение указанной процедуры. ♦

Формальные аспекты этой процедуры требуют отдельного рассмотрения.



3.3.3. Выбор моделей для оценки объектов контрольной выборки

При завершении процесса классификации каждому объекту контрольной выборки ставится в соответствие единственный номер соответствующего объекта обучающей выборки. Обозначим через $\Phi(i)$ такой номер для i -го объекта контрольной выборки. По аналогии с правилом выбора моделей для объектов обучающей выборки определяется правило выбора моделей для объектов контрольной выборки:

- если объект с номером $\Phi(i)$ принадлежит пологому участку, то $МС(i) = МП(i)$;
- если объект с номером $\Phi(i)$ принадлежит зоне перекрытия участков, то в простейшем случае можно считать, что $МС(i) = (МП(i) + МК(i))/2$. В принципе, возможны и другие правила «сочленения»;
- если объект с номером $\Phi(i)$ принадлежит крутому участку, то $МС(i) = МК(i)$.

Напомним, что в ту или иную выбираемую модель подставляются метки, приписанные соответствующим значениям регрессоров i -го объекта контрольной выборки. Как показано далее на конкретном примере, использование составных моделей для оценки объектов неоднородных выборок позволяет существенно улучшить показатели качества оценки.

4. ПРИМЕР. МАССОВАЯ ОЦЕНКА ЗЕМЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ПРОМЫШЛЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ ПОДМОСКОВЬЯ

4.1. Описание исходной задачи

При оценке объектов недвижимости, к которым относятся земельные участки разного функционального назначения, в роли зависимой переменной выступает тот или иной стоимостный показатель (полная цена, удельная цена, цена аренды и т. п.), а в роли регрессоров, которые в случае объектов недвижимости принято называть *факторами стоимости*, — различные характеристики объектов недвижимости (факторы местоположения, факторы собственно объекта недвижимости, факторы его непосредственного окружения и т. д.). Исходной информацией о земельных участках в данном примере является выборка, содержащая 136 участков из 30-ти районов Подмосковья. Описания этих участков в исходной выборке содержали следующие факторы стоимости.

Факторы местоположения

Оценочная зона — фактор *Зона*. Согласно постановлению Правительства Московской области, принятому в 1995 г., вся территория Московской области разделена на 6 оценочных зон. Фактор *Зона* — качественный, имеющий 6 числовых значений.

Административный район Московской области — фактор *Район*. Присутствующие в исходной выборке земельные участки принадлежали к 30-ти административным районам Подмосковья. Фактор *Район* — качественный, имеющий 30 словесных значений.

Расстояние от МКАД — Московской кольцевой автомобильной дороги — фактор *МКАД*, является следующим фактором, уточняющим местоположение каждого участка. Фактор *МКАД* — количественный, диапазон его значений в исходной выборке от 0,2 до 101 км.

Факторы, описывающие собственно земельный участок

Площадь земельного участка — фактор *ПлУч*, — количественный, диапазон его значений в исходной выборке от 1,5 до 500 тыс. кв. м.

Наличие коммуникаций (электроэнергия + связь) на участке (есть—нет) — фактор *Комм*.

Наличие железнодорожных подъездных путей к участку (есть—нет) — фактор *Подъезд*;

Находится ли участок на территории населенного пункта поселкового типа с числом жителей, большим 1 тыс. чел. (да—нет) — фактор *НП*.

Исходная выборка содержала также данные о полных рыночных стоимостях земельных участков от 56 до 11 250 тыс. долл. Далее для краткости вместо слова «земельный участок» будем использовать слово «объект».

4.2. Процедура построения составной модели по обучающей выборке

Процедура построения составной модели содержала следующие этапы.

1. *Формирование обучающей и контрольной выборок*. Для исходной выборки был построен вариационный ряд по возрастанию полной стоимости объектов. Объекты исходной выборки переупорядочивались в соответствии с положением значения стоимости каждого объекта в вариационном ряду. Обучающая и контрольная выборки формировались путем поочередного отнесения объектов этой упорядоченной совокупности то к одной, то к другой выборке, так что обучающая выборка содержала объекты с четными номерами, а контрольная — с нечетными. Такое поочередное отнесение объектов к обучающей и контрольной выборке позволяет в значительной степени обеспечить выполнение требований замечания 2, § 3. В результате обучающая и контрольная выборки содержали по 68 объектов.

2. *Выделение пологого и крутого участков на графике вариационного ряда для объектов обучающей выборки*. Для объектов обучающей выборки был построен вариационный ряд по стоимости объектов и определены параметры пологого и крутого участков (рис. 1): пологий участок 1 включал в себя объекты с номерами от 1 по 50, крутой участ-

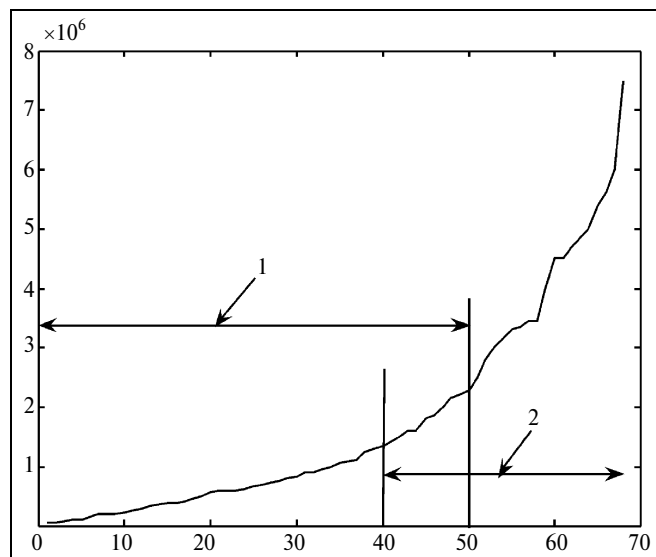


Рис. 1. Выделение в вариационном ряду для объектов обучающей выборки пологого и крутого участков
(по оси абсцисс указаны номера объектов в упорядоченной совокупности, по оси ординат — стоимость объектов, долл.)

ток 2 — с номерами от 40 по 68, таким образом, зона перекрытия содержала 11 объектов.

3. *Приписывание меток значениям факторов стоимости на пологом и крутом участках.* На пологом и крутом участках обучающей выборки независимо приписывались метки значениям факторов стоимости объектов согласно приведенным выше правилам. Значениям качественных факторов *Район* и *Зона* метки приписывались согласно процедуре приписывания меток значениям качественных факторов, для фактора *МКАД*, отрицательно коррелирующего со стоимостью объектов, проводилось переопределение его значений согласно формуле (1), а на двоичных факторах *НП*, *Комм* и *Подъезд* был построен разрядный фактор $1 + \text{Комм} + 2 * \text{НП} + 4 * \text{Подъезд}$, для чего исходные значения (0, 1) факторов *Комм* и *Подъезд* переопределялись для обеспечения положительности корреляции этих факторов со стоимостью объектов.

4. *Построение регрессионных моделей на пологом и крутом участках.* На пологом и крутом участках в качестве моделей оценки были выбраны и построены линейная и мультипликативная модели. Кроме того, были построены линейная и мультипликативная модели по всей обучающей выборке для последующего сравнения качества оценки строящейся составной модели с этими моделями.

5. *Сравнение качества оценки составной модели с традиционными моделями на обучающей выборке.* Для простоты полагаем, что в составной модели «сочленяются» модели одного и того же класса, результирующую составную модель назовем либо линейной, либо мультипликативной составной

моделью. Значения параметров качества составных моделей на обучающей выборке приведены в табл. 1. Для сравнения в ней приведены также значения параметров качества для линейной и мультипликативной моделей, построенных по всей обучающей выборке.

Здесь $\delta_{\text{ср}}$ — средняя относительная погрешность оценки, R^2 — множественный коэффициент корреляции (коэффициент детерминации), F — значение критерия Фишера, а σ — стандартное отклонение. Поскольку при уровне значимости 0,05, числе факторов в моделях, равном 5, и длине обучающей выборки, равной 68, пороговое значение критерия Фишера $F_{kp0,05;5,68-5-1} \approx 2$, все рассмотренные модели статистически значимы. Из табл. 1 следует, что составные модели на обучающей выборке обладают лучшим качеством оценки по сравнению с «одинокими» рассмотренными моделями.

4.3. Процедура оценки объектов контрольной выборки с использованием составной модели

Оценка объектов контрольной выборки с использованием составной модели производится согласно следующим этапам.

А. *Приписывание пар меток значениям факторов стоимости.* Прежде всего на значения факторов стоимости объектов контрольной выборки надо перенести метки совпадающих с ними (или ближайших к ним) значений факторов стоимости объектов пологого и крутого участков обучающей выборки. В результате каждое значение факторов стоимости объектов контрольной выборки будет иметь пару меток.

В. *Соотнесение объектам контрольной выборки соответствующих объектов обучающей выборки.* Такое соотнесение производится согласно разработанному алгоритму классификации, суть которого сформулирована в первой части работы. Результат действия алгоритма заключается в совокупности номеров объектов обучающей выборки в исходном вариационном ряду, однозначно определенных для объектов контрольной выборки. Эта совокупность в данном случае имеет следующий

Таблица 1
Значения параметров качества составных и традиционных моделей на обучающей выборке

Составная модель		«Одиночная» модель	
линейная	мультипликативная	линейная	мультипликативная
$\delta_{\text{ср}} = 50,88 \%$	$\delta_{\text{ср}} = 37,48 \%$	$\delta_{\text{ср}} = 96,08 \%$	$\delta_{\text{ср}} = 33,70 \%$
$R^2 = 0,9570$	$R^2 = 0,9270$	$R^2 = 0,7505$	$R^2 = 0,7751$
$F = 275,9801$	$F = 157,4723$	$F = 36,1016$	$F = 41,3488$
$\sigma = 402\,080$	$\sigma = 454\,920$	$\sigma = 796\,850$	$\sigma = 756\,650$

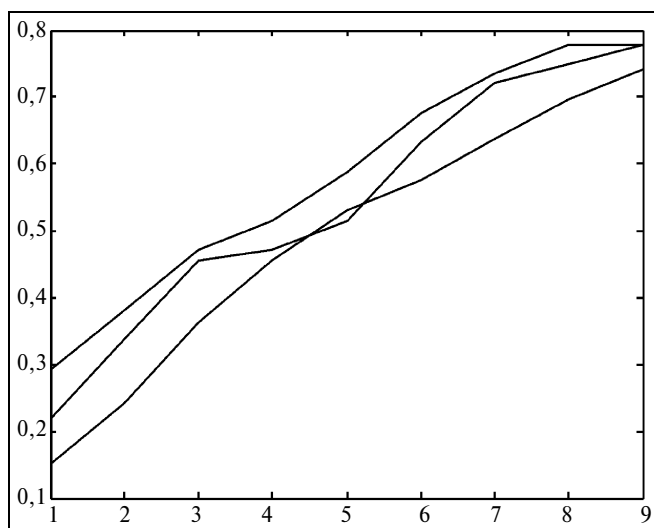


Рис. 2. Графики доли объектов, для которых относительная погрешность оценки не превосходит заданного уровня: «одиночная» мультипликативная модель (нижняя кривая); составная мультипликативная модель с использованием логистической модели (промежуточная кривая); составная мультипликативная модель с использованием предложенного алгоритма классификации (верхняя кривая)

вид: $\Phi = (16 \ 35 \ 16 \ 34 \ 1 \ 40 \ 11 \ 40 \ 1 \ 8 \ 12 \ 14 \ 13 \ 16 \ 29 \ 8 \ 24 \ 17 \ 63 \ 40 \ 21 \ 23 \ 23 \ 13 \ 35 \ 17 \ 23 \ 9 \ 30 \ 3 \ 38 \ 28 \ 40 \ 9 \ 34 \ 67 \ 30 \ 44 \ 24 \ 42 \ 42 \ 52 \ 44 \ 35 \ 24 \ 64 \ 20 \ 18 \ 20 \ 54 \ 66 \ 57 \ 55 \ 45 \ 31 \ 45 \ 57 \ 66 \ 8 \ 49 \ 66 \ 62 \ 54 \ 59 \ 65 \ 65 \ 26 \ 30)$.

С. Выбор моделей для оценки объектов контрольной выборки производится по правилу:

- если номер $\Phi(i) < 41$, то оценкой стоимости i -го объекта является $МП(i)$;
- если $\Phi(i) \in [41, 50]$, то оценка стоимости i -го объекта есть $(МП(i) + МК(i))/2$;
- если номер $\Phi(i) > 50$, то оценкой стоимости i -го объекта является $МК(i)$.

Значения параметров качества составных моделей на контрольной выборке приведены в табл. 2. Для сравнения в ней приведены также значения параметров качества линейной и мультипликатив-

Таблица 2
Значения параметров качества составных моделей и традиционных моделей на контрольной выборке

Составная модель		«Одиночная» модель	
линейная	мультипликативная	линейная	мультипликативная
$\delta_{cp} = 83,88 \%$	$\delta_{cp} = 69,12 \%$	$\delta_{cp} = 136,26 \%$	$\delta_{cp} = 82,86 \%$
$R^2 = 0,6153$	$R^2 = 0,6731$	$R^2 = 0,3705$	$R^2 = 0,2831$
$F = 19,1959$	$F = 24,7102$	$F = 7,0613$	$F = 4,7387$
$\sigma = 1 \ 005 \ 600$	$\sigma = 926 \ 990$	$\sigma = 1 \ 292 \ 200$	$\sigma = 1 \ 378 \ 900$

ной моделей (построенных по всей обучающей выборке) на контрольной выборке.

Из табл. 2 следует, что на контрольной выборке качество линейной и мультипликативной составных моделей существенно лучше качества линейной и мультипликативной моделей, построенных по всей обучающей выборке. Об этом же говорит и рис. 2, на котором приведены графики (аналоги линии Лоренца) для различных моделей.

На рис. 2 по оси абсцисс отложены заданные уровни относительной погрешности оценки (в десятках процентов), а по оси ординат — доли объектов контрольной выборки, относительная погрешность оценки которых не превосходит заданного уровня. График для мультипликативной составной модели с применением предложенного алгоритма доминирует над остальными графиками, что говорит о лучшем качестве оценки объектов с помощью этой модели, а площадь зоны между графиками является количественной оценкой такого улучшения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мотивация данной работы обусловлена желанием дополнить традиционные методы построения регрессионных моделей некоторыми практическими приемами, улучшающими качество этих моделей. К таким приемам относятся рассмотренные в работе процедуры приписывания меток и объединения традиционных моделей в составные модели в случае неоднородных выборок. Центральным в процедуре оценивания с использованием составных моделей является алгоритм классификации, от качества которого зависит результирующее качество оценивания. На конкретном примере продемонстрирована эффективность перехода к составным моделям в плане повышения качества оценки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Эккерт Дж. Организация оценки и налогообложения недвижимости. — М.: Стар Интер, 1997. — Т. 2. — 442 с.
2. Standard on Automated Valuation Models (AVMs). International Association of Assessing Officers, 2003.
3. Воронцов К.В. Лекции по алгоритмическим композициям. — М.: МГУ, 2007. — 44 с. (<http://lib.mexmat.ru/books/13920>).
4. Воронцов К.В. Лекции по метрическим алгоритмам классификации. — М.: МФТИ, 2007. — 14 с. (<http://www.ccas.ru/voron/download/MetricAlgs>).
5. Логистическая регрессия и ROC-анализ — математический аппарат. Лаборатория Base Group, (<http://www.basegroup.ru/regression/logistic.htm>).

☎ (495) 334-90-00, e-mail: ekorno@mail.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.С. Рыковым. □

ОБ ОДНОЙ ДЕСКРИПТИВНО-ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ СРЕДНЕСРОЧНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ

А.Г. Лосев, М.В. Радчик

Волгоградский государственный университет

Предложена математическая модель среднесрочного планирования для промышленного предприятия, применяющего поперечный или поперечный метод калькуляции себестоимости, в целях максимизации получаемой им прибыли. Установлена линейность функции прибыли относительно объемов выпуска, что позволяет применять методы линейного программирования для ее максимизации.

ВВЕДЕНИЕ

Неотъемлемой частью управления промышленными предприятиями традиционно является планирование себестоимости. Этот показатель хозяйственной деятельности выражает в денежной форме затраты, возникающие при производстве продукции и ее реализации. Он служит для текущей оценки результатов работы предприятий и одновременно базой для установления цен и исчисления налогов. Общепринятыми методами калькуляции себестоимости являются нормативный, позаказный, поперечный и поперечный (однопеременный). Для эффективного управления производством процесс калькулирования объективно необходим — он позволяет оценить целесообразность дальнейшего выпуска продукции, установить оптимальную цену и ширину ассортиментного ряда, спрогнозировать необходимость обновления действующей технологии и выявить качество работы управленческого аппарата. Система калькулирования себестоимости должна соответствовать характеру основных производственных процессов, типу выпускаемой продукции и устанавливается из соображений наиболее рациональной организации работы предприятия.

В современных условиях производства на территории России наиболее активно применяется поперечный метод учета затрат и калькулирования себестоимости продукции. Он преимущественно востребован в массовом и крупносерийном производстве с комплексным использованием сырья, предусматривающим несколько фаз обработки, в частности в нефтеперерабатывающей, метал-

лургической, химической, целлюлозно-бумажной и текстильной отраслях, в условиях однородного непрерывного и, как правило, короткого технологического процесса или ряда последовательных процессов [1].

В данной работе предложена математическая модель управления промышленным предприятием, применяющим поперечный метод калькуляции себестоимости при среднесрочном планировании, в целях максимизации получаемой им прибыли. Изложенные в статье рассуждения легко могут быть распространены и на случай поперечного метода калькуляции себестоимости.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

1.1. Оптимизационная модель

Один из главных мотивов деятельности любого предприятия состоит в максимизации прибыли. В конкретных случаях (при завоевании новых сегментов рынка, товарной экспансии, конкурентной борьбе и др.) предприятие готово идти на снижение уровня своих доходов и даже работать в убыток, но длительное время так существовать на рынке оно не сможет.

Очевидно, что для планирования прибыли необходимо знать себестоимость продукции до начала выпуска, а она, как правило, известна только по факту изготовления. В таком случае можно было бы воспользоваться ее прогнозным значением, но при некоторых методах калькуляции себестоимости (нормативном и позаказном) и это не имеет смысла. Нормативный метод необходим для предупреждения нерационального использования ре-



сурсов и выявления резервов на основе отклонения от нормативной себестоимости: если бы все затраты на предприятии соответствовали действующим нормам, а объем производства — запланированному, то фактическая себестоимость была бы равна нормативной [2]. Задача планирования не имеет смысла и в позаказном методе, поскольку учет затрат ведется на каждый индивидуальный заказ. Таким образом, планирование себестоимости оказывается актуальным только в случае поперечного и, в частности, одноперечного (попроцессного) методов.

Опишем порядок вычисления функции себестоимости в последнем случае. Всюду далее будем считать, что предприятие выпускает n видов продукции, и решается задача планирования на период $[T_1, T_2]$. В рамках модели, описываемой в данной работе, цены на материалы, сырье, готовые изделия и прочее будем считать известными функциями времени. В действительности ситуация обстоит несколько иначе: при планировании себестоимости точные ценовые показатели отсутствуют, поэтому вместо них, как правило, используют прогнозные значения.

При попроцессном методе значительное влияние на себестоимость оказывает сортament выпускаемой продукции, т. е. набор, состоящий из упорядоченных пар (i, t_i) , где i — вид (номер) изделия, $t_i(\tau)$ — планируемый объем выпуска продукции данного вида в момент времени τ , $i = 1, \dots, n$. Иначе говоря, себестоимость продукции зависит не только от ценовых $z(\tau)$ и технологических $\gamma(\tau)$ показателей, но и от объемов выпуска различных видов продукции — $\tilde{s}_i(z(\tau), \gamma(\tau), t_1(\tau), t_2(\tau), \dots, t_n(\tau))$, $i = 1, \dots, n$, $\tau \in [T_1, T_2]$. В данной модели вектор-функции $z(\tau)$ и $\gamma(\tau)$ предполагаются известными. Можно считать, что себестоимость является функцией сортамента — $s_i(t_1(\tau), t_2(\tau), \dots, t_n(\tau))$, $i = \overline{1, n}$, а прибыль предприятия за период планирования $[T_1, T_2]$ можно представить в виде:

$$\pi = (1 - \beta) \sum_{i=1}^n \int_{T_1}^{T_2} D(\tau)(c_i(\tau) - s_i(t_1(\tau), \dots, t_n(\tau)))t_i(\tau)d\tau, \quad (1)$$

где β — суммарная ставка налоговых отчислений, выплачиваемых предприятием с прибыли; $t_i(\tau)$, $s_i(t_1(\tau), t_2(\tau), \dots, t_n(\tau))$ и $c_i(\tau)$ — объем выпуска, себестоимость и цена реализации i -го, $i = 1, \dots, n$ вида продукции в момент времени τ ; $D(\tau)$ — дефлятор, позволяющий свести стоимостные выражения к начальному моменту, учитывая прогнозируемый уровень инфляции на момент времени τ [3].

Таким образом, рассчитать себестоимость прежде, чем известен сортament выпуска проблематично, а без нее нельзя вычислить прибыль. Предлагается две эти задачи — максимизацию прибыли и планирование себестоимости продукции — решать совместно, поскольку прибыль (1) — функционал от сортамента. Задача планирования сводится к определению объемов выпуска для максимизации прибыли и последующим вычислениям значений себестоимости. Обратим внимание, что рассматриваемая задача оптимизации не зависит от методики, применяемой для расчета себестоимости.

В управлении промышленным предприятием планирование разделяют на краткосрочное, среднесрочное и долгосрочное. Будем считать, что суть их различий состоит в возможности изменений уровня цен и производственных мощностей. В рамках краткосрочного периода ценовые показатели на ресурсы и выпускаемую продукцию постоянны, а факторы производства фиксированы: ввести в строй новые производственные мощности невозможно, но повысить степень использования существующих — вполне по силам. В среднесрочном периоде варьируются все вводимые факторы производства и цены, но базовые технологии остаются неизменными. В пределах долгосрочного периода может меняться все: и объем производственной инфраструктуры, и ее организация. В настоящей модели рассматривается среднесрочный вариант. На самом деле цены на материалы и сырье, используемые в производстве, как и цены, по которым готовая продукция реализуется, являются кусочно-постоянными функциями времени. Поэтому, независимо от длительности периода планирования, можно выделить v временных отрезков, где прогнозные значения цен (ресурсов, реализации) и уровня инфляции неизменны — в среднесрочном периоде планирования выделяются v интервалов краткосрочного характера. Таким образом, учитывая замену точных значений (цен, уровней инфляции и т. д.) на прогнозные и фиксируя сортament на каждом из интервалов постоянства цен, прибыль предприятия за весь период планирования можно определить в виде:

$$\begin{aligned} \pi = & (1 - \beta) \sum_{i=1}^n \int_{T_1}^{T_2} D(\tau)(c_i(\tau) - s_i(t_1(\tau), \dots, t_n(\tau)))t_i(\tau)d\tau + \\ & + \dots + (1 - \beta) \sum_{i=1}^n \int_{\tau_{v-1}}^{\tau_v} D(\tau)(c_i(\tau) - s_i(t_1(\tau), \dots, \\ & \dots, t_n(\tau)))t_i(\tau)d\tau = (1 - \beta) \sum_{i=1}^n \left(D_1(c_i^1 - s_i^1) \int_{T_1}^{\tau_1} t_i(\tau)d\tau + \right. \end{aligned}$$

$$+ \dots + D_r(c_i^r - s_i^r) \int_{\tau_{r-1}}^{\tau_r} t_i(\tau) d\tau + \dots \\ \dots + D_v(c_i^v - s_i^v) \int_{\tau_{v-1}}^{T_2} t_i(\tau) d\tau \Big),$$

где D_r , $r = 1, \dots, v$ — индивидуальный дефлятор, c_i^r и s_i^r — значения цены реализации и себестоимости i -го вида продукции в r -м интервале, соответственно.

Введем обозначения:

$$t_i^1 = \int_{T_1}^{\tau_1} t_i(\tau) d\tau, \dots, t_i^r = \int_{\tau_{r-1}}^{\tau_r} t_i(\tau) d\tau, \dots, t_i^v = \int_{\tau_{v-1}}^{T_2} t_i(\tau) d\tau,$$

где t_i^r — объем выпуска i -го вида продукции на r -м участке, $r = 1, \dots, v$. Тогда размер прибыли предприятия за весь период планирования

$$\pi = (1 - \beta) \sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^v D_r(c_i^r - s_i^r(t_1^r, t_2^r, \dots, t_n^r)) t_i^r. \quad (2)$$

Таким образом, исходная задача состоит в нахождении сортамента, максимизирующего функцию прибыли:

$$\pi = (1 - \beta) \sum_{r=1}^v D_r \pi_r(t_1^r, t_2^r, \dots, t_n^r) \rightarrow \max_{t_1^r, \dots, t_n^r},$$

где π_r — функция прибыли на r -м участке и последующем вычислении значений себестоимости.

1.2. Эконометрический анализ

В отечественной практике состав и классификация затрат, включаемых в себестоимость продукции, определяются на основании нормативных документов [4].

Важный аспект описываемой модели — это способы включения затрат в себестоимость выпускаемой продукции: непосредственный (прямой) и косвенный. Прямым образом учитываются лишь те затраты, для которых известны коэффициенты расхода — сколько какого материала необходимо для производства единицы каждого вида продукции. В тех случаях, когда коэффициенты расхода точно не известны, их значения корректируются с помощью специально рассчитываемых коэффициентов, так называемых коэффициентов трудоемкости f_j , посредством которых косвенно учитываются затраты в себестоимости продукции.

В рассматриваемой модели к издержкам, допускающим прямое отнесение на себестоимость вы-

пуска, относятся только расходы на материалы; остальные затраты (сырьевые, реализационные и др.), прямое отнесение которых на себестоимость конкретного изделия невозможно, учитываются косвенно: пропорционально экономически обоснованному базису.

Таким образом, структура совокупных затрат производства, учитываемых при расчете себестоимости продукции, может быть представлена в виде [4]

$$Cost = M + R + C + Fa + Fi - W,$$

где M — затраты на материалы; R — затраты на сырье; C — расходы на реализацию готовой продукции [4, п. 40]; Fa — затраты, связанные с управлением предприятием и организацией производства в целом [4, п. 37]; W — отходы производства, в том числе и возвратные; прочие затраты заключаем в категорию постоянных издержек Fi .

Будем предполагать, что для производства n видов продукции предприятие использует m типов материалов и k видов сырья. Кроме того, известны прогнозные цены за единицу j -го типа материала и l -го вида сырья, а также матрицы затрат материалов $A = (a_{ij})$, и сырья $B = (b_{il})$, $i = 1, \dots, n$, $l = 1, \dots, k$. Заметим, что нормы расхода материалов обычно задаются для единицы каждого вида выпускаемой продукции, а аналогичные показатели для сырья чаще всего известны только под конкретный сортмент. Именно по этой причине сырьевые затраты, как уже было отмечено, перераспределяются по отдельным видам продукции с помощью коэффициентов трудоемкости. Кроме того, для каждого вида материала и сырья существуют нормируемые коэффициенты их использования — km_j и kr_l , $j = 1, \dots, m$, $l = 1, \dots, k$ [5].

2.3. Функция прибыли на интервале постоянства цен

При введенных в п. 1.2 обозначениях себестоимость i -го вида продукции выглядит так:

$$s_i = \sum_{j=1}^m a_{ij} [z_j - (1 - km_j) z_{mj}] + \\ + \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i t_i} \sum_{l=1}^k b_{il} [z_{bl} - (1 - kr_l) z_{rl}] t_i + \\ + \frac{f1_i}{\sum_{i=1}^n f1_i t_i} Fi + \frac{f2_i}{\sum_{i=1}^n f2_i t_i} C + \frac{f3_i}{\sum_{i=1}^n f3_i t_i} Fa,$$

где f_i , $f1_i$, $f2_i$ и $f3_i$ — коэффициенты трудоемкости продукции i -го вида для сырьевых R , постоянных



Fi , реализационных C и общехозяйственных Fa затрат, соответственно (см. также работу [6]); z_j — ожидаемые (прогнозные) цены за единицу j -го типа материала; zb_l — прогнозные цены за единицу l -го вида сырья; $(1 - km_j)$ и $(1 - kr_l)$ — «коэффициенты не использованных сырья и материалов»; zm_j и zr_l — планируемые цены на отходы материалов j -го вида и сырья l -го типа; $j = 1, \dots, m, l = 1, \dots, k$.

Причем $zm_j > 0$ и $zr_l > 0$, если предприятие может продать или переработать отход сырья и материалов (возвратные отходы); $zm_j < 0$ и $zr_l < 0$, если отходы безвозвратные и необходимы затраты на их утилизацию [7, с. 254].

Таким образом, прибыль как функционал от сортамента приобретает вид:

$$\begin{aligned} \pi_r = & \sum_{i=1}^n (c_i - s_i(t_1, \dots, t_n))t_i = \\ = & \sum_{i=1}^n c_i t_i - \sum_{i=1}^n \left(\sum_{j=1}^m a_{ij}[z_j - (1 - km_j)zm_j] + \right. \\ & + \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i t_i} \sum_{l=1}^k b_{il}[zb_l - (1 - kr_l)zr_l]t_i + \\ & \left. + \frac{f1_i}{\sum_{i=1}^n f1_i t_i} Fi + \frac{f2_i}{\sum_{i=1}^n f2_i t_i} C + \frac{f3_i}{\sum_{i=1}^n f3_i t_i} Fa \right) t_i \end{aligned}$$

Утверждение 1 ([6]). В краткосрочном периоде планирования функция прибыли π_r линейна относительно объемов выпуска продукции $t_1, t_2, \dots, t_n$:

$$\begin{aligned} \pi_r = & \sum_{i=1}^n c_i t_i - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}[z_j - (1 - km_j)zm_j]t_i - \\ - & \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k b_{il}[zb_l - (1 - kr_l)zr_l]t_i - (Fi + C + Fa) \cdot \diamond \end{aligned}$$

1.4. Итоговая формулировка проблемы

В силу утверждения 1 функция прибыли для среднесрочной модели имеет вид:

$$\begin{aligned} \pi = & \sum_{r=1}^v \pi_r = \sum_{r=1}^v \left(\sum_{i=1}^n c_i t_i^r - \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m a_{ij}[z_j - (1 - \right. \\ & - km_j)zm_j]t_i^r - \sum_{i=1}^n \sum_{l=1}^k b_{il}[zb_l - (1 - kr_l)zr_l]t_i^r - \\ & \left. - (Fi_r + C_r + Fa_r) \right), \end{aligned} \quad (3)$$

где π_r — прибыль предприятия на r -м участке, t_i^r — объем выпуска i -го вида продукции на r -м временном промежутке.

Вполне естественно полагать наличие некоторых ограничений, обусловленных особенностями промышленного производства, использования ресурсов и др.

- **Логические ограничения**, связанные с природой экономических переменных — неотрицательность цен, объемов затрат ресурсов и др.

- **Производственные ограничения**, обусловленные возможностью выпустить определенное количество продукции, располагая фиксированным набором ресурсов (материалов, сырья, основных производственных фондов, персонала определенной квалификации, фондом рабочего времени и т. д.). К таким могут быть отнесены ограничения на:

- общий производственный выпуск

$$q \leq \sum_{r=1}^v \sum_{i=1}^n t_i^r \leq Q, \quad (4)$$

ограниченный снизу объемом выпуска q в режиме «технологический минимум», а сверху максимально возможным, предельным объемом Q ;

- материалы и сырьевые ресурсы

$$\sum_{r=1}^v \sum_{i=1}^n a_{ij} t_i^r \leq A_j^*, \quad \forall j = \overline{1, m}, \quad (5)$$

$$\sum_{r=1}^v \sum_{i=1}^n b_{il} t_i^r \leq B_l^*, \quad \forall l = \overline{1, k},$$

определяемое числом j -го типа материала и l -го вида сырья, необходимого для выпуска n видов продукции с учетом объемов выпуска и норм расхода.

- **Рыночные (сбытовые) ограничения** объемов выпуска i -го вида продукции, обусловленные уровнем спроса на изделия конкретного вида в соответствующем временном отрезке:

$$\min t_i^r \leq t_i^r \leq \max t_i^r, \quad \forall i = \overline{1, n}, \quad \forall r = \overline{1, v}, \quad (6)$$

где $\min t_i^r$ — объем выпуска, оговоренный в уже заключенных предприятием контрактах; $\max t_i^r$ — объем выпуска, востребованный рынком (доля рынка в натуральном выражении). Данное условие может быть наложено и на совокупный объем выпуска:

$$\begin{aligned} v m_i = & \sum_{r=1}^v \min_{t_i^1, \dots, t_i^v} t_i^r \leq \sum_{r=1}^v t_i^r \leq \sum_{r=1}^v \max_{t_i^1, \dots, t_i^v} t_i^r = v M_i, \\ & \forall i = \overline{1, n}, \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} (v-1)m_i &= \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq \theta}}^v \min_{t_i^1, \dots, t_i^{\theta-1}, t_i^{\theta+1}, \dots, t_i^v} t_i^r \leq \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq \theta}}^v t_i^r \leq \\ &\leq \sum_{\substack{r=1 \\ r \neq \theta}}^v \max_{t_i^1, \dots, t_i^{\theta-1}, t_i^{\theta+1}, \dots, t_i^v} t_i^r = (v-1)M_p, \\ \forall i &= \overline{1, n}, m_0 = \min t_i^0 \leq t_i^0 \leq \max t_i^0 = M_0. \end{aligned}$$

Список приведенных ограничений при необходимости может быть расширен.

Перечисленные условия и ограничения зависят от срока планирования (сутки, месяц, полгода и более), а специфика рассматриваемой задачи заключается в присутствии фактора времени как в объемах выпускаемой продукции, так и в самих ограничениях модели.

Учитывая сформулированное утверждение, можно заметить, что во всем периоде планирования функция прибыли кусочно-линейная. Более того, на каждом из выделенных промежутков «ценопостоянства» она линейна. Исходную задачу, казалось бы, естественно разбить на v подзадач, учитывая согласованность прогнозов среднесрочного и краткосрочного характера, но на практике оказывается, что это не всегда возможно. Дело в том, что при планировании производства естественные ограничения могут на некоторых интервалах постоянства отсутствовать либо для нескольких участков быть общими. В то время как для рассмотрения v подзадач необходимо наличие независимых граничных условий на каждом из сегментов.

Таким образом, задача состоит в нахождении объемов выпуска при ограничениях (4)–(6), максимизирующих функцию прибыли (3), и последующем вычислении значений себестоимости.

2. МЕТОД ОПТИМИЗАЦИИ

2.1. Модель без использования складов

Рассмотрим ситуацию максимизации прибыли, когда вся выпускаемая продукция реализуется на том же временном участке, что и производится (т. е. дополнительные затраты на хранение отсутствуют). Такие производства, как правило, имеют собственные, находящиеся в непосредственной близости от цехов, специализированные складские помещения, в которых сосредоточен небольшой запас материалов, необходимых для обеспечения непрерывности производственного процесса, и случайный избыток продукции. Расходы по содержанию и эксплуатации такого рода объектов включаются в общехозяйственные затраты F_a .

Других (внешних арендуемых) складов, предназначенных для хранения готовой продукции, не имеется (в рамках данной модели).

Предлагается следующий метод решения задачи. Переобозначая i -й вид продукции ($i = 1, \dots, n$), выпускаемый на 2-м временном отрезке, на $(n+i)$ -й, а на r -м — на $((r-1)n+i)$ -й и так до v -го участка включительно:

$$\begin{aligned} t_i^1 &= t_i, t_i^2 = t_{n+i}, \dots, t_i^r = t_{(r-1)n+i}, \dots, \\ t_i^v &= t_{(v-1)n+i} \end{aligned}$$

представим выражение (2) в виде

$$\begin{aligned} \pi &= (1-\beta) \sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^v D_r(c_i^r - s_i^r(t_{(r-1)n+1}, \dots, t_m)) \times \\ &\times t_{(r-1)n+i}. \end{aligned}$$

Полученная функция линейна относительно объемов выпуска $t_1, \dots, t_{vn}$. Таким образом, для ее максимизации могут применяться методы линейного программирования, что существенно упрощает задачу оптимизации.

2.2. Модель с использованием складов

В настоящее время аренда внешних складов крупными промышленными предприятиями с целью хранения готовой продукции от момента ее выпуска до полной реализации приобретает особый интерес. Наличие склада позволяет, управляя объемами хранения, влиять на разницу между ценой и себестоимостью продукции — например, в ожидании увеличения затрат на выпуск или более высокой рыночной цены готового изделия. Производства такого типа, как правило, не ограничиваются внутренним складом и довольно активно прибегают к эксплуатации дополнительных (внешних) помещений. Затраты предприятий на целевое хранение готовой продукции учитываются в рамках реализационных затрат C . При этом количество арендуемых под склад площадей напрямую зависит от количества изделий, подлежащих хранению.

В условиях использования внешних складских помещений в постановке задачи — (3), (4)–(6) — происходят изменения. В функции прибыли в качестве составляющей C , наряду с прочими расходами на реализацию C_0 , возникают затраты K на хранение готовой продукции $C = C_0 + K$, и в системе ограничений появляется дополнительное условие на затраты k_p , обусловленные хранением единицы i -го вида продукции: $k_i \geq 0$. Рассмотрим i -й вид продукции t_i . Пусть t_i^1 — количество i -го вида продукции, произведенное в первом времен-



ном промежутке. Обозначим продукцию i -го вида, которая будет реализована в первом временном отрезке через $t_i^{1,1}$, а проданную во втором — через $t_i^{1,2}$ и так далее до $t_i^{1,v}$ включительно. Тогда объем i -го вида продукции, выпущенного за весь период планирования, можно представить в виде:

$$t_i = \sum_{r=1}^v \sum_{p=1}^r t_i^{p,r}.$$

С учетом этого выражения совокупные издержки на производство i -го вида продукции в течение всего периода планирования

$$s_i t_i = \sum_{r=1}^v \sum_{p=1}^r s_i^p t_i^{p,r},$$

совокупные затраты на хранение

$$K = \sum_{r=1}^v \sum_{p=1}^r (r-p) k_i t_i^{p,r},$$

выручка предприятия от реализации i -го вида выпущенной продукции

$$c_i t_i = \sum_{r=1}^v c_i^r \sum_{p=1}^r t_i^{p,r} = \sum_{r=1}^v \sum_{p=1}^r c_i^r t_i^{p,r}.$$

Функция прибыли за весь период планирования принимает вид:

$$\pi = (1-\beta) \sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^v \sum_{p=1}^r D_r(c_i^r - s_i^p(t_1^{p,r}, \dots, t_n^{p,r})) t_i^{p,r}.$$

В данном случае метод, применяемый ранее для решения задачи максимизации прибыли в модели, где эксплуатация внешних складских помещений не учитывалась, требует определенной модернизации. Переобозначая i -й вид продукции, реализуемый только в r -м, а выпускаемый в первом временном промежутке на $(r(r-1)n/2 + i)$ -й, выпускаемый на p -м, и реализуемый лишь в r -м — на $(r(r-1)/2 + p-1)n + i$ -й:

$$\begin{aligned} t_i^{1,1} &= t_i, \dots, t_i^{1,v} = t_{(1+2+\dots+v-1)n+i} = \\ &= t_{v(v-1)/2(n+i)}, \dots, t_i^{v,v} = t_{(1+2+\dots+v-1+v-1)n+i} = \\ &= t_{(v(v-1)/2+v-1)n+i} \end{aligned}$$

Получаем:

$$\begin{aligned} \pi &= (1-\beta) \sum_{i=1}^n \sum_{r=1}^v \sum_{p=1}^r D_r(c_i^r - s_i^p(t_{(r(r-1)/2+p-1)n+1}, \\ &\dots, t_{(r(r-1)/2+pn)})) t_{(r(r-1)/2+p-1)n+i} \end{aligned}$$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Построена математическая модель управления промышленным предприятием, применяющим попроцессный метод калькуляции себестоимости при среднесрочном планировании, в целях максимизации прибыли. Выявлена линейность функции прибыли относительно объемов выпуска, что позволяет применять методы линейного программирования для ее максимизации. Модель может быть легко распространена и на случай предприятия с несколькими переделами.

Безусловно, возможна дальнейшая оптимизация, например по времени, затрачиваемому на переналадку оборудования на каждом из участков «ценопостоянства». Эта задача представляет особый интерес, поскольку расходы на переналадку могут составлять существенную долю в совокупных затратах производства. В предложенной модели затраты на переналадку технологических процессов были включены в постоянные издержки на каждом из интервалов постоянства цен, так как оптимизация по времени не осуществлялась.

Авторы не претендуют на всеобъемлемость данной модели, так как, надо полагать, возможны и иные пути оптимизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слабинский В.Т. Попроцессный учет и анализ затрат на производство. — М.: Финансы и статистика, 1982. — 144 с.
2. Бухгалтерский учет / Е.П. Козлова и др. — М.: Финансы и статистика, 1994. — 464 с.
3. Райзберг Л.А., Лозовский Л.Ш., Стародубцева Е.Б. Современный экономический словарь. — М., 2006.
4. Основные положения по планированию, учету и калькулированию себестоимости продукции на промышленных предприятиях // Экономика и жизнь. 1996. — № 52.
5. Калькуляция себестоимости продукции в промышленности / В.А. Белобородова и др. — М.: Финансы и статистика, 1989. — 279 с.
6. Ларина И.А., Лосев А.Г. Об одной дескриптивно-оптимизационной модели планирования себестоимости продукции // Вестник ВолГУ. — 2003 — 2004. — Сер. 9. Вып. 3. — Ч. 2. — С. 29—35.
7. Налоговый кодекс Российской Федерации. — М.: ТК Велби, Изд-во «Проспект», 2004. — 600 с.

e-mail: alexander.losev@volsu.ru, romanovamv@yandex.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.С. Манделем. □

НЕТРАДИЦИОННЫЙ ВЗГЛЯД НА РАБОЧЕЕ ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ

А.В. Дрозд

Одесский национальный политехнический университет

Показано, что рабочее диагностирование вычислительных устройств развивалось под действием модели точных данных, которая определила цель, основные требования к методам, оценку их эффективности только для частного случая обработки точных данных. Рассмотрены особенности приближенных вычислений, которые указывают на необходимость пересмотра основных положений рабочего диагностирования. Анализ выявил низкую достоверность традиционных методов в условиях роста значимости обработки приближенных данных.

ВВЕДЕНИЕ

Один из наиболее устойчивых ранних стереотипов, добротнo закрепляемых школьным образованием, состоит в негативном отношении к *ошибке*. Нас не только приучают к мысли, что ошибки следует исключать. Создается устойчивое убеждение, что это возможно.

Вместе с тем, ошибка представляет собой одну из основ нашего мира, вне которой этот мир просто *не существует, не развивается и не познается*.

Ошибка — это разница между абсолютной и относительной истинами, т. е. мир познается посредством ошибки, путем ее бесконечного преодоления.

Методом проб и ошибок происходит развитие мира. Например, в живой природе такой ошибкой выступает мутация, которая при определенных условиях закрепляется в ходе естественного отбора как основной путь дальнейшей эволюции. И нет другого способа развития мира, нежели путем искажения, т. е. ошибки.

Однако все это следует из невозможности самого существования вне ошибки.

Изготовление любого изделия предполагает соблюдение всех его характеристик в определенных пределах — допусках. Если изделие выполне-

но в пределах допусков, то оно имеет право на существование, а иначе отбраковывается. Все в этом мире существует в пределах допусков.

Право на ошибку — это право на существование в пределах допусков, которые составляют жизненное пространство существования. Если температура тела человека была бы задана в одной точке 36,6° без права на какие-либо отклонения, то право человека на существование было бы сведено на нет. Таким образом, мир не существует вне ошибки.

Количественные оценки сущего — это числа с допуском, т. е. имеющие жизненное пространство, они являются *приближенными данными* — результатами измерений и их обработки. Таким образом, наш мир — это мир приближенных данных, и все, что в нем находится, структурируется под его реалии. Поэтому доля обработки приближенных данных, т. е. данных «от Бога», постоянно растет и будет только возрастать. Это можно проследить на примере развития персональных компьютеров в части аппаратной поддержки арифметики с плавающей точкой, используемой для приближенных вычислений: от сопроцессоров необязательной поставки (Intel8087/287/387) до встроенных конвейеров FPU с плавающей точкой в составе Intel486, Pentium и др. [1].

Отметим, что человек живет в своем мире чисел, которые сводятся к *точным данным*.



Точные данные — целые по своей природе. К ним относятся только номера элементов множеств, которые естественно описывать порядковыми числительными.

Приближенные данные из Мира подменяются номерами. Например, 36,6 — это 366-е по значимости числовое значение из диапазона $0 \div 999$.

Компьютерная техника поддерживает такое восприятие данных, поскольку представление информации двоичными или другими кодами, т. е. кодирование данных, является нумерацией.

Все, что можно записать в разрядную сетку компьютера, — точные данные, поскольку их значения можно поставить в соответствие порядковым номерам, т. е. пронумеровать. Например, в трехбитовой разрядной сетке могут быть записаны двоичные коды, значения которых 0, 1, ..., 7 могут быть отождествлены с их номерами: от нулевого до седьмого. Это распространяется и на представление в компьютере приближенных данных в форматах с плавающей точкой, поскольку мантисса записывается в определенную разрядную сетку и все ее значения могут быть пронумерованы.

Так компьютерной техникой была закреплена сложившаяся к этому времени *модель точных данных*, которая состоит в том, что все числа, независимо от их настоящей природы, рассматриваются как точные данные.

Многие представления, в первую очередь связанные с компьютером, находятся в плену модели точных данных. Никто не объявлял эту модель, однако она ограничила развитие компьютера. Можно утверждать, что проектирование, диагностика и эксплуатация компьютера складывались и развиваются в настоящее время в рамках модели точных данных, иными словами, все или почти все в этих и других областях сделано только для случая точных данных, т. е. данных «не от Мира сего». Для снятия этого ограничения, как минимум, необходимо его осознать и признать.

Сегодня задачи, решаемые с помощью компьютерной техники, за редким исключением не выявляют противоречия между моделью точных данных и приближенным характером обрабатываемых данных. Однако противоречие есть, и с нарастанием значимости обработки приближенных данных оно усиливается. Не преодолевая его, невозможно подняться над уровнем сегодняшних задач.

Насколько серьезны заблуждения, порождаемые моделью точных данных, можно проследить на примере развития *рабочего диагностирования* (РД) вычислительных устройств (ВУ). По сей день находятся вне обсуждения исторически сложившиеся ошибочно сформулированные основные понятия, включая цель РД, ряд «неоспоримых» догм, оценки эффективности методов, оставляющие РД в рамках действия модели точных данных.

1. ИЗ ИСТОРИИ РАБОЧЕГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Рабочее диагностирование ВУ имеет много названий, и принято считать, что оно заключается в контроле правильности работы ВУ (его цифровой схемы) на рабочих воздействиях, т. е. в процессе применения по назначению [2]. Такой *контроль* осуществляет обнаружение ошибок одновременно с работой ВУ (*concurrent checking* [3], *concurrent error detection* [4]), дает оперативную оценку его технического состояния и потому называется также *оперативным* (*on-line testing*) [5]. Условия его выполнения подразумевают аппаратную реализацию и неразрывную связь с контролируемым ВУ, за что данный контроль называют также *аппаратурным* [6], *аппаратным* или *оперативным аппаратным* [7], в отличие от программного, и *встроенным* в противоположность выносному контролю. По отношению к тестовому диагностированию основным отличительным признаком РД выступает характер входных воздействий: РД осуществляется на рабочих входных воздействиях, а для тестового диагностирования на вход ВУ поступают тесты. Рабочее диагностирование называют также функциональным, подчеркивая, что оно выполняется в процессе функционирования ВУ, т. е. на фактических данных [8].

Изначально РД заимствовало методы и средства из теории и практики связи для передачи сообщений на расстояния. В условиях помех эфира сообщения необходимо кодировать, используя избыточные коды (обнаруживающие — для обнаружения ошибок в сообщении и корректирующие — для восстановления искаженного сообщения). Передатчик сообщений выполняет и функции кодирующего устройства — кодера, а приемник — декодирующего устройства, т. е. декодера.

Пусть, например, передаваемые сообщения используют алфавит из 8 букв (8, а не 33 взято для упрощения примера). Пронумеруем буквы двоичными кодами от 000_2 до 111_2 . Для их избыточного описания используем групповой код [9], порождающая матрица которого имеет вид, показанный в табл. 1.

Таблица 1

Порождающая матрица

Номер слова	Разряды					
	1	2	3	4	5	6
1	0	0	1	1	1	0
2	0	1	0	1	0	1
4	1	0	0	0	1	1

Таблица 2

Групповой код

Номер слова	Разряды					
	1	2	3	4	5	6
0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	1	1	0
2	0	1	0	1	0	1
3	0	1	1	0	1	1
4	1	0	0	0	1	1
5	1	0	1	1	0	1
6	1	1	0	1	1	0
7	1	1	1	0	0	0

Групповой код (табл. 2) содержит нулевое слово 0, слова порождающей матрицы 1, 2 и 4, а также слова 3, 5, 6 и 7, которые получаются при выполнении операции сложения по модулю 2 над словами порождающей матрицы. Так, слово 3 получается суммой по модулю 2 слов 1 и 2. Слово содержит информационные и проверочные разряды. Информационные разряды 1, 2 и 3 описывают букву сообщения. Проверочные разряды 4, 5 и 6 делают код буквы избыточным. Если в принятом сообщении все слова принадлежат групповому коду, то это сообщение считается правильным.

Принадлежность слова групповому коду может быть проверена с помощью уравнений линейного синдрома. Такие уравнения составляются для каждого проверочного разряда путем его определения в виде суммы по модулю 2 информационных разрядов порождающей матрицы. Для рассматриваемого группового кода уравнения имеют следующий вид:

$$4 = 2 \oplus 3;$$

$$5 = 1 \oplus 3;$$

$$6 = 1 \oplus 2.$$

Слово принадлежит групповому коду, т. е. является кодовым, если справедливы все уравнения линейного синдрома. В противном случае обнаруживается ошибка.

По уравнениям строится декодер — схема контроля (СК), выполненная на сумматорах по модулю 2, элементе ИЛИ и формирующая сигнал контроля E (рис. 1).

Кодер и декодер рассматривались абсолютно надежными во время передачи сообщения и проверялись только тестами в паузах работы. Это положение было наследовано рабочим диагностиро-

ванием, для которого СК не проверялась в процессе работы.

В 1968 г. на конгрессе в Эдинбурге Картер и Шнайдер впервые обратили внимание на необходимость проверки СК в рабочем режиме [10]. С этой целью они предложили строить *самопроверяемые схемы*, что стало важным шагом в развитии РД, впервые распространяя его на СК. В основу теории самопроверяемых схем легли следующие определения [11].

- Схема называется *защищенной* для множества неисправностей F , если для каждой из них на выходе схемы не вычисляются неправильные кодовые слова для входных кодовых слов. Схема называется *самотестируемой* для множества неисправностей F , если для каждой из них на выходе схемы вычисляется некодовое слово хотя бы для одного входного кодового слова. Схема полностью *самопроверяемая*, если защищена и самотестируема.

Пусть пары кодовых слов отличаются на кодовое расстояние d , т. е. в d разрядах. Если неисправность вызывает ошибку в t разрядах и $t < d$, то схема защищенная, поскольку вычисляет на выходе некодовое слово. Кодовое расстояние d обеспечивается введением проверочных разрядов. Поэтому защищенность схемы определяет информационную избыточность, необходимую для обнаружения одной неисправности по первой ошибке.

Самотестируемость схемы направлена на создание условия для обнаружения первой неисправности до возникновения второй. Условие предполагает, что в интервале времени между этими неисправностями появятся все входные кодовые слова. Это возможно при редком появлении неисправностей и работе схемы на высокой частоте, т. е.

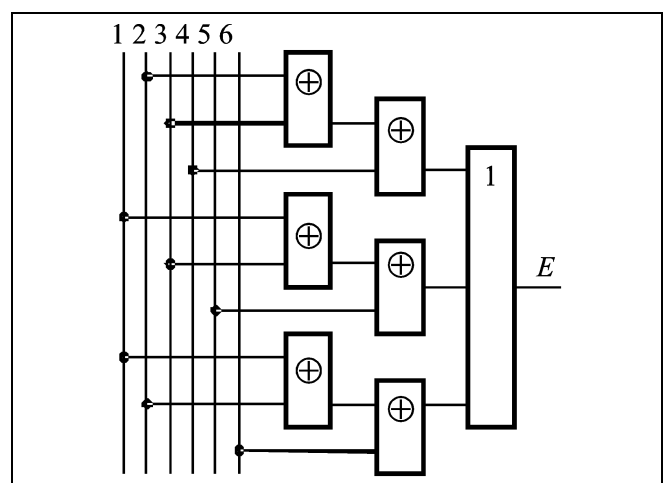


Рис. 1. Схема контроля

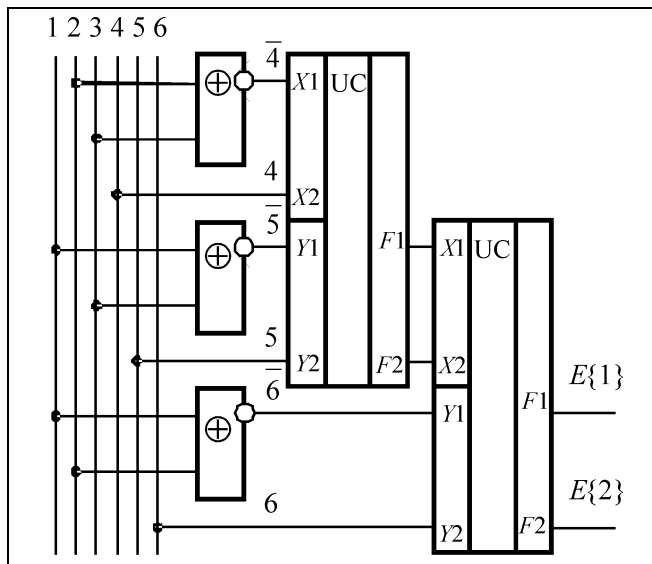


Рис. 2. Самопроверяемая схема

при высокой надежности и производительности ВУ, что уже было достигнуто к концу 1960-х гг.

Схема на рис. 1 не является самотестируемой для множества одиночных константных неисправностей. Действительно, неисправность «0» на выходе схемы определяет нулевое слово $E = 0$ для всех входных кодовых слов. Неисправность «0» на входах элемента ИЛИ также делает схему несамотестируемой и несамопроверяемой.

Для получения самопроверяемой схемы (рис. 2) разряды 4, 5 и 6 дополняются инверсными разрядами $\bar{4}$, $\bar{5}$ и $\bar{6}$. Вводятся также узлы Картера (UC), преобразующие две пары разрядов $X1 = \bar{X}2$ и $Y1 = \bar{Y}2$ в одну такую пару $F1 = \bar{F}2$. На выходе СК вычисляет двухразрядный код $E\{1, 2\}$. В случае обнаружения ошибки $E\{1\} = E\{2\}$, а иначе $E\{1\} = \bar{E}\{2\}$.

В следующих десятилетиях и по настоящее время основное развитие РД шло по пути разработки самопроверяемых схем.

С применением контроля по паритету, по модулю и других методов были разработаны самопроверяемые схемы для комбинационных схем [12], синхронных и асинхронных автоматов [13], а также сумматоров, умножителей, делителей, арифметических логических устройств и др. [14].

Теория самопроверяемых схем сыграла важную роль, определив понятия РД, по которым происходит его развитие по сей день. Были сформулированы цель РД, основное требование к методам РД и др., что, однако, пришло время обсудить.

2. ДОГМЫ РАБОЧЕГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Определения самопроверяемых схем зафиксировали ряд сложившихся догм, которые кажутся неоспоримыми по сей день:

- цель РД — оценка исправности схемы путем обнаружения ее неисправностей;
- основное требование, предъявляемое к методам РД, — обнаружение неисправности схемы по первой ошибке;
- исправная схема вычисляет только достоверные результаты, а недостоверные результаты вычисляются только неисправной схемой.

Вместе с тем, объявленная цель, которая должна достигаться в процессе вычислений:

- противоречит здравому смыслу;
- опровергается практикой;
- недостижима для самопроверяемых схем.

Действительно, уподобим вычислительный процесс полету самолета. Поиск неисправностей в процессе полета немало удивил бы пассажиров. Уж если задаться целью обнаружить неисправность, то для этого лучший способ — создание критических условий! Например, фигуры высшего пилотажа, а для схемы — колебания питания, вибрация и т. п. Конечно же, цель состоит в другом — долететь, дорешать вычислительную задачу, которая состоит в выполнении определенного объема вычислений за заданное время с получением достоверных результатов. При ограниченной надежности средств решения задачи часть результатов может быть недостоверна. Для их выявления и необходимо РД. А обнаруживать неисправности следует до начала работы методами тестового диагностирования.

Неисправную схему можно представить минным полем. Неисправность — мина. Тесты — саперы, которые выявляют мину до начала вычислений. Фактические данные — хлебопашцы, ради которых «разминирруется» схема. Поиск неисправностей на фактических данных противоречит здравому смыслу так же, как поиск мин в процессе земледелия.

Ошибки вызываются сбоями и отказами. Сбой возникает намного чаще, чем отказ. Поэтому, как правило, первая обнаруживаемая ошибка вызывается сбоем. Сбой действует короткий период времени, после чего схема снова исправна. Поэтому обнаружение сбоя далее не подтверждается. Из этого следует, что на практике первая ошибка обнаруживается не с целью оценки исправности схемы, а для ответа на вопрос: «Можно ли использовать вычисленный результат или он недостоверен и требует пересчета?».

Более того, по первой ошибке нельзя судить о неисправности самопроверяемой схемы и в случае отказа, поскольку его невозможно идентифицировать по одной ошибке (то ли одиночной в случае сбоя, то ли первой из серии ошибок, генерируемых отказом).

Настоящая цель РД — оценка достоверности вычисляемого результата.

Отметим, что согласно объявленной цели напротив, оценка результата служит для определения исправности самопроверяемой схемы, т. е. цель и средства поменялись местами.

Когда у РД оказываются две цели, возникают естественные вопросы:

— Почему объявлена ненастоящая цель? Кто виноват?

— В какой степени различаются объявленная и настоящая цели?

Виновником заблуждений является модель точных данных. Никто не объявлял эту модель, но она определила:

— логику, положенную в основу теории самопроверяемых схем;

— цель РД;

— основное требование к методам РД;

— развитие РД.

Логика, на которой основывается теория самопроверяемых схем, состоит в том, чтобы вычислять достоверные результаты только на исправной схеме. Это следует из догмы о получении достоверных результатов на исправной схеме, а недостоверных — на неисправной. Однако эта догма, как это будет показано ниже, справедлива только для точных данных.

Точное данное становится недостоверным при любом его искажении. Поэтому обнаруженная ошибка одновременно указывает и на неисправность схемы, и на недостоверность точного результата. Это отождествляет объявленную и настоящую цели для случая точных данных, где поиск неисправностей позволяет оценивать достоверность результата.

Основное требование к методам РД — обнаруживать первую ошибку — исходит из того, что каждая ошибка делает результат недостоверным, что справедливо только для точных данных.

Таким образом, можно утверждать, что РД разработано только для частного случая обработки точных данных.

3. ОСОБЕННОСТИ ОБРАБОТКИ ПРИБЛИЖЕННЫХ ДАННЫХ

Как влияет на РД приближенный характер обрабатываемых данных? Для ответа на этот вопрос необходимо рассмотреть особенности обработки приближенных данных.

Первая особенность состоит в использовании операции умножения в записи приближенного данного в наиболее распространенной нормальной форме, например, в форматах с плавающей точкой число записывается в виде произведения mq^p , где m — мантисса, q — основание системы счисления, p — показатель степени [15]. Произведение двух операндов удваивает длину результата двухместной операции. Согласно теории ошибок, число верных разрядов результата не превышает числа верных разрядов операнда. Поэтому наиболее распространены форматы одинарной точности, для которых младшая половина вычисленного результата отбрасывается.

Вторая особенность обработки приближенных данных состоит в нарушении ассоциативного закона. Рассмотрим сложение миллиона с миллионом единиц, используя двухместные операции и разрядную сетку длиной $n < 20$. Сумма миллиона и единицы равна миллиону, поскольку единица теряется при выравнивании порядков. Миллион таких операций также определяет результат, равный первому числу, т. е. одному миллиону. Правильный результат — два миллиона — можно получить, изменив порядок вычислений. Сначала следует сложить пары единиц, затем полученные двойки и так продолжать до вычисления миллиона, который далее складывается с первым числом.

Вычисление одного миллиона вместо двух показывает несостоятельность догмы, утверждающей, что исправная схема вычисляет достоверный результат.

Третья особенность состоит в выравнивании порядков, которое выполняется в наиболее часто используемых операциях сложения.

Приближенный результат содержит старшие верные и младшие неверные разряды [16].

Определение. Ошибка, вызванная неисправностью вычислительной схемы, считается *существенной*, если снижает число верных разрядов результата, и *несущественной* в противном случае.

Особенности обработки приближенных данных определяют факторы, снижающие долю существенных ошибок.

Первая особенность приводит к исключению существенных ошибок, возникающих в отбрасываемой половине вычисляемого результата. *Первый фактор* определяет долю оставляемых ошибок по формуле $K_1 = n/n_c$, где n и n_c — числа оставляемых и вычисляемых разрядов результата; $K_1 = 0,5$ для $n_c = 2n$, т. е. половина всех ошибок относится к несущественным.

Для восстановления действия ассоциативного закона используются расширенные форматы, удлиненные с помощью младших неверных разря-



дов, что приводит к увеличению доли несущественных ошибок. *Второй фактор* определяет долю существенных ошибок в расширенном формате по формуле $K_2 = n_E/n$, где n_E и n — числа разрядов мантиссы в базовом и расширенном форматах. В форматах с плавающей точкой разрядность мантиссы увеличивается в 2,7 раз с 24 бит в одинарном формате до 64 бит в двойном расширенном формате [15], что определяет $K_2 = 0,37$.

При выравнивании порядков мантиссы числа с меньшим порядком сдвигается вправо с потерей младших разрядов. При этом исключаются из вычислений младшие разряды результатов всех предшествующих операций. Ошибки в этих разрядах, перешедших из верных в неверные, становятся несущественными. *Третий фактор* можно оценить, по формуле $K_3 = 1 - 0,25O_c/O_o$, где O_c — количество оборудования узлов ВУ, предшествующих сдвигу мантиссы; O_o — общее количество оборудования ВУ [17].

В случае нескольких операций K_3 определяется как произведение факторов каждой из них.

Перечисленные факторы можно рассматривать как действующие независимо. Поэтому вероятность того, что ошибка существенная, можно оценить долей существенных ошибок в общем числе ошибок по формуле $P_c = K_1 K_2 K_3$, которая показывает, что $P_c \ll 1$ и существенные ошибки значительно менее вероятны, чем несущественные [17].

4. ДОСТОВЕРНОСТЬ МЕТОДОВ РАБОЧЕГО ДИАГНОСТИРОВАНИЯ

Различие объявленной и настоящей цели можно проследить по тому, как они определяют достоверность методов РД. Для этого рассмотрим квадрат с единичной длиной сторон и, соответственно, единичной площадью (рис. 3).

На горизонтальной стороне квадрата откладываются вероятности P_c и $P_n = 1 - P_c$ того, что возникшая ошибка является существенной и несущественной, а на вертикальной стороне — вероятности P_o и $P_n = 1 - P_o$ ее обнаружения и пропуска. При этом квадрат разбивается на четыре части, определяющие вероятности $P_{o,c}$ и $P_{o,n}$ обнаружения существенных и несущественных ошибок, а также вероятности $P_{n,c}$ и $P_{n,n}$ их пропуска, для которых выполняется соотношение

$$P_{o,c} + P_{o,n} + P_{n,c} + P_{n,n} = 1,$$

где $P_{o,c} = P_o P_c$; $P_{o,n} = P_o P_n = P_o(1 - P_c)$; $P_{n,c} = P_n P_c = (1 - P_o)P_c$; $P_{n,n} = P_n P_n = (1 - P_o)(1 - P_c)$.

		P_c		$P_n = 1 - P_c$	
P_o	$P_n = 1 - P_o$	$P_{o,c} = P_o P_c$ 1	$P_{o,n} = P_o P_n$ 2		
		$P_{n,c} = P_n P_c$ 3	$P_{n,n} = P_n P_n$ 4		

Рис. 3. Вероятности обнаружения и пропуска ошибок

Согласно объявленной цели, метод РД достоверный, если обнаруживается неисправность, независимо от того, является ли вызванная ею ошибка существенной или нет. Это определяет показатель достоверности метода РД как сумму частей 1 и 2 квадрата (см. рис. 3) по формуле $D_o = P_{o,c} + P_{o,n}$.

Согласно настоящей цели, метод РД достоверный, если правильно оценивает вычисляемый результат: достоверный результат определяет достоверным, а недостоверный результат — недостоверным. Оценка достоверности результата производится путем обнаружения или пропуска ошибки, а действительным признаком достоверного или недостоверного результата служит отсутствие или наличие существенной ошибки.

В части 1 квадрата метод РД обнаруживает существенную ошибку, справедливо определяя результат недостоверным. В части 2 обнаруживается несущественная ошибка, что приводит к отбраковке достоверного результата — метод РД дает ошибочную оценку результата. Часть 3 также указывает на ошибку метода РД, поскольку пропущена существенная ошибка и недостоверный результат не выявлен. В части 4 метод РД игнорирует несущественную ошибку, справедливо подтверждая достоверность вычисляемого результата. Поэтому показатель достоверности метода РД складывается из частей 1 и 4 квадрата и определяется по формуле $D = P_{o,c} + P_{n,n}$.

Объявленная и настоящая цели различаются в оценке достоверности метода РД: показатели достоверности D_o и D отличаются друг от друга на части 2 и 4 квадрата.

Каковы размеры различающих частей квадрата?

Для ответа на этот вопрос следует принять во внимание высокую вероятность обнаружения оши-

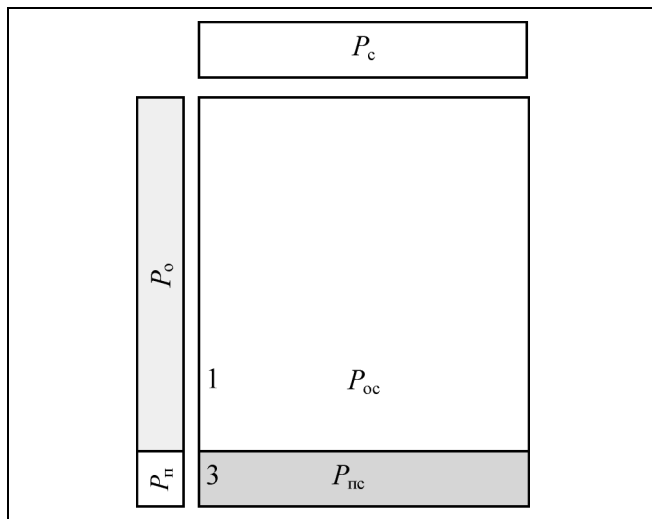


Рис. 4. Случай точных данных

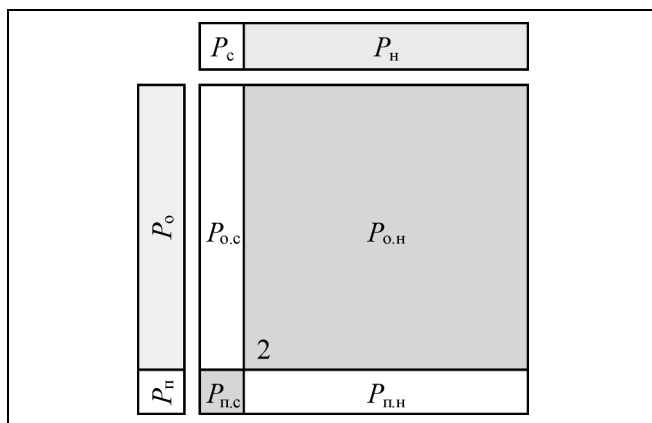


Рис. 5. Реальная оценка обнаружения и пропуска ошибок

бок, достигнутую в современных методах РД, т. е. $P_o \gg P_n$.

В случае точных данных вероятность $P_c = 1$, поскольку все ошибки существенные. Из этого следует, что $P_{о.н} = P_o(1 - P_c) = 0$ и $P_{п.н} = (1 - P_o) \times (1 - P_c) = 0$. Иными словами, для случая точных данных части 2 и 4 исключаются из квадрата, как это показано на рис. 4, а показатели достоверности D_o и D , описываемые частью 1 квадрата, совпадают и высокие. Это еще раз свидетельствует о том, что РД разработано для частного случая обработки точных данных и в этих рамках обеспечивает высокую эффективность.

Для общего случая необходимо учесть соотношение $P_c \ll P_n$, присущее обработке приближенных данных.

На рис. 5 показана реальная картина разбиения квадрата на части. Размеры части 1 значительно сокращаются вследствие малого значения вероятности P_c , а часть 2 напротив увеличивает свои размеры и становится основной частью квадрата, описывая совершенно новое качество методов РД отбраковывать достоверные результаты при обнаружении несущественных ошибок.

Ранее, т. е. в рамках действия модели точных данных, достоверные результаты вычислений могли быть отбракованы только при условии, что ошибка находится в контрольных кодах и вызвана неисправностью средств контроля (ошибка второго рода). Сам метод РД не мог отбраковать достоверный результат по причине отсутствия несущественных ошибок в результате обработки точных данных.

Реальная оценка вероятностей обнаружения и пропуска существенных и несущественных ошибок позволяет сделать следующие выводы:

- объявленная и настоящая цели РД различаются на самую большую часть 2 квадрата, которая практически совпадает с самим квадратом, т. е. для приближенных данных цели становятся диаметрально противоположными;

- показатель достоверности методов РД высокий в рамках объявленной цели и низкий для настоящей цели.

Анализируя квадрат, можно предложить три пути повышения достоверности D методов РД [18], увеличить:

- часть 1 квадрата, повышая вероятность P_c (рис. 6);
- часть 4, снижая вероятность P_o (рис. 7);

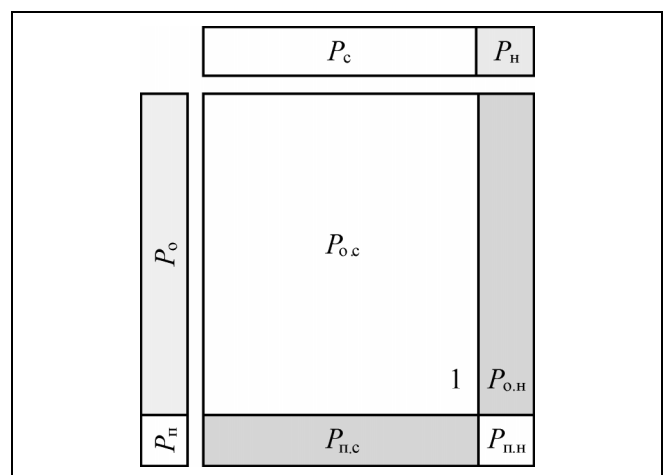


Рис. 6. Первый путь повышения достоверности рабочего диагностирования

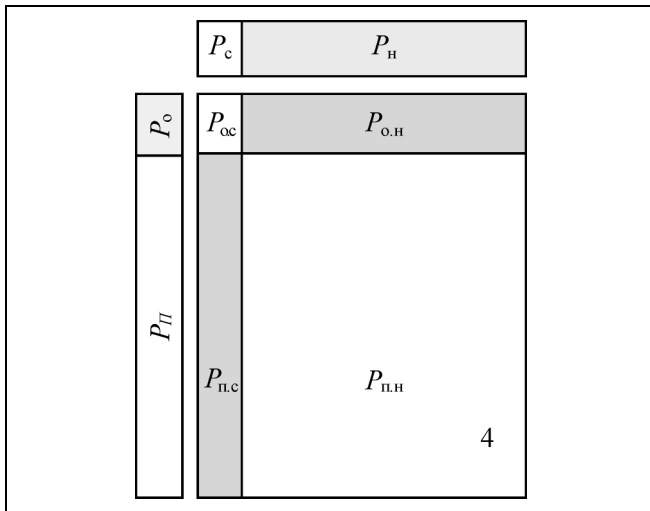


Рис. 7. Второй путь повышения достоверность рабочего диагностирования

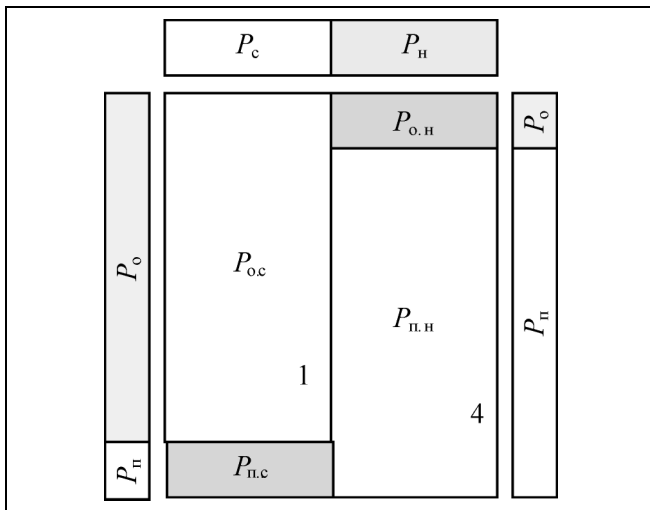


Рис. 8. Третий путь повышения достоверность рабочего диагностирования

— части 1 и 4, делая вероятность P_o различной для обнаружения существенных ($P_{o.c}$) и несущественных ($P_{o.n}$) ошибок, $P_{o.c} > P_{o.n}$ (рис. 8).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В табл. 3 взгляд на рабочее диагностирование сложившийся под действием модели точных данных, сравнивается с реальностью.

Осталось выяснить последнюю серию вопросов: «Почему наши заблуждения нам прощаются, и как долго это будет происходить?».

Человечество уже вступило в эру принятия ответственных решений, и от способности просчи-

тывать их последствия зависит, насколько долго она продлится. Защищенность общества определяется умением решать задачи на пределе возможностей, что требует создания своей теории и реализаций на практике.

Методы РД демонстрируют достоверность контроля результатов на уже произошедшей ошибке, а поэтому влияние достоверности на решение вычислительных задач зависит от вероятности появления ошибок.

Сегодняшние вычислительные задачи решаются в условиях низкой вероятности появления ошибок, поэтому показанная в работе низкая достоверность традиционных методов РД, отбраковка достоверных результатов, выполняемая почти по каждой ошибке, остается незамеченной.

При решении вычислительной задачи на пределе возможностей ограничением степени распараллеливания вычислений является сложность средств решения задачи, а ограничением сложности — их надежность. Таким образом, сложные задачи решаются в условиях плотного потока неисправностей, что приводит к значительной доле результатов, посчитанных с ошибками. Пересчет ошибочных результатов может существенно удлинить время решения задачи, исключая саму возможность ее решения в реальном масштабе времени.

Несущественные ошибки и обеспечение высокой вероятности их пропуска составляют важную предпосылку для решения сложной задачи, поскольку большинство результатов, посчитанных при действии проявившихся в виде ошибки неис-

Таблица 3

Различные взгляды на рабочее диагностирование

Под влиянием модели	Реальность
Рабочее диагностирование (РД) разработано для всех типов данных	Рабочее диагностирование разработано только для случая точных данных
Цель РД — оценка исправности схемы	Цель РД — оценка достоверности результата
Все обрабатываемые числа рассматриваются как точные данные	В большинстве случаев обрабатываемые числа — приближенные данные
Все ошибки существенные	Большинство ошибок несущественные
Традиционные методы РД имеют высокую достоверность, обнаруживая почти все ошибки и неисправности	Традиционные методы РД имеют низкую достоверность контроля результата, обнаруживая, в основном, несущественные ошибки

правностей, являются достоверными. Однако для реализации этой предпосылки необходимо высвободить методы РД из «плена» модели точных данных. Следует разрабатывать методы РД, которые признают за числом его право на существование в пределах допусков, т. е. право оставаться достоверным при возникновении несущественных ошибок. Методы РД должны уметь различать существенные и несущественные ошибки результатов обработки приближенных данных.

Если без ошибок существование невозможно, то ошибку необходимо сделать союзником и использовать жизненное пространство, предоставляемое ею числу, для расширения возможностей решать сложные задачи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гук М. Процессоры Intel: от 8086 до Pentium II. — СПб: Питер, 1997. — 224 с.
2. Гуляев В.А., Макаров С.М., Новиков В.С. Диагностика вычислительных машин. — Киев: Техника, 1981. — 167 с.
3. Metra C., Favalli M. and Ricco B. Concurrent Checking of clock signal correctness // IEEE Design & Test. — 1998. — October. — P. 42–48.
4. Toubia N.A. and McCluskey E.J. Logic synthesis techniques for reduced area implementation of multilevel circuits with concurrent error detection // Proc. IEEE Int. Conf. on Computer Aided Design. — 1994. — P. 651–654.
5. Self-checking scheme for the on-line testing of power supply noise / C. Metra, L. Schiano, M. Favalli and B. Ricco. — Proc. Design, Automation and Test in Europe Conf. — Paris (France). — 2002. — P. 832–836.
6. Nicolaidis M. and Zorian Y. On-line testing for VLSI — a compendium of approaches // Electronic Testing: Theory and Application (JETTA). — 1998. — Vol. 12. — P. 7–20.
7. Журавлев Ю.П., Котелюк Л.А., Циклинский Н.И. Надежность и контроль ЭВМ. — М.: Советское радио, 1978. — 416 с.
8. Основы технической диагностики / В.В. Карибский, П.П. Пархоменко, Е.С. Согомонян, В.Ф. Халчев. — М.: Энергия, 1976. — 464 с.
9. Кузьмин И.В., Кедров В.А. Основы теории информации и кодирования. — Киев: Вища шк., 1986. — 238 с.
10. Carter W., Schneider P. Design of Dynamically Checked Computers // Proc. IFIP Congress 68. — Edinburgh (Scotland), 1968. — P. 878–883.
11. Anderson D.A., Metzger G. Design of totally self-checking check circuits for m-out-of-n codes // IEEE Trans. Comput. — 1977. — Vol. C-22, N 3. — P. 263–269.
12. Smith J.E. and Metzger G. The design of totally self-checking combinational circuits // Proc. Int. Symposium on Fault Tolerant Computing Dig. — Los Angeles (USA), 1977. — P. 130–134.
13. Ozguner F. Design of totally self-checking asynchronous and synchronous sequential machines // Proc. Int. Symposium on Fault Tolerant Computing Dig. — Los Angeles (USA), 1977. — P. 124–129.
14. Nicolaidis M., Bedder H. Efficient Implementation of Self-checking Multiply and Divide Arrays // Proc. 1994 European Design and Test Conf. — Paris (France), 1994. — P. 134–137.
15. ANSI/IEEE Std 754-1985. IEEE Standard for Binary Floating-Point Arithmetic. — New York: IEEE, 1985. — 18 с.
16. Демидович Б.П., Марон И.А. Основы вычислительной математики. — М.: Физматгиз, 1966. — 664 с.
17. Drozd A. On-line Testing of Computing Circuits at Approximate Data Processing // Radioelectronics & Informatics. — 2003. — № 3. — P. 113–116.
18. Drozd A., Lobachev M., Drozd J. The problem of on-line testing methods in approximate data processing // Proc. 12th IEEE International On-Line Testing Symposium. — Como, Italy, 2006. — P. 251–256.

e-mail: drozd@ukr.net

Статья представлена к публикации членом редколлегии П.П. Пархоменко. □

Новая книга

Ковалевский С.С., Кульба В.В., Уткин В.А., Краснова С.А., Шелков А.Б., Гладков Ю.М. Математические методы в управлении обязательным социальным страхованием / Под ред. С.С. Ковалевского и В.В. Кульбы. — М.: Издательство ЛКИ, 2008. — 800 с.

Рассмотрен комплекс проблем совершенствования системы управления обязательным социальным страхованием от несчастных случаев на производстве и профессиональных заболеваний. Приведены формализованные методы количественной оценки профессиональных рисков, обоснования и расчета размера страховых тарифов, а также скидок и надбавок к ним. Разработаны процедуры дифференциации тарифов по факторам профессиональных рисков на основе прогнозных моделей. Проведен анализ перспектив перехода на индивидуальную схему тарификации страхователей. Представлены методы оптимизации размера страхового резерва, а также механизмы контроля за соблюдением страхователями порядка уплаты страховых взносов и расходования средств на цели обязательного социального страхования. Рассмотрена задача оптимизации текущего планирования и управления процессами обеспечения инвалидов техническими средствами реабилитации.

Для научных работников и специалистов в области организационного управления и страхования, а также студентов и аспирантов соответствующих специальностей.

По вопросам приобретения книги обращайтесь по тел. (495) 334-89-59, e-mail: kulba@ipu.ru



ГЕНЕТИЧЕСКИЕ АЛГОРИТМЫ НА ПРИМЕРАХ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧ РАСКРОЯ

А.В. Подлазова

Московский государственный институт стали и сплавов (технологический университет), г. Москва

Рассматривается решение задач дискретной оптимизации с помощью генетических алгоритмов. Описываются созданные для их применения структуры данных, приводятся разработанные генетические операторы — важные составляющие генетических алгоритмов. Обсуждаются общие характеристики генетических алгоритмов, достоинства и недостатки.

ВВЕДЕНИЕ

Идея использования *принципов биологической эволюции* для решения оптимизационных задач возникала в различных модификациях у ряда авторов. Первые публикации на эту тему появились в 1960-х г. А в 1975 г. вышла основополагающая книга Холланда «Адаптация в естественных и искусственных системах», в которой и был предложен собственно первый *генетический алгоритм* [1].

Сегодня о генетических алгоритмах можно говорить как о методе, которым решено множество различных задач [2—24]. Об этом свидетельствует огромная библиография, в том числе и на русском языке. Тем не менее, генетические алгоритмы не перестают быть предметом споров об эффективности их работы и целесообразности их использования.

В данной работе приводится формальная постановка задачи, на решение которой изначально был направлен первый генетический алгоритм, и общая схема работы самого алгоритма. Описываются составляющие генетического алгоритма и их назначение. Для решения конкретной задачи разработчик, исследователь может сконструировать свою конкретную схему работы генетического алгоритма из его составляющих. При этом разработчик руководствуется особенностями предметной области, формализации задачи, структурой используемых данных, возможно, даже результатами тестирования других схем генетического алгоритма. Разумеется, в строении всех таких алгоритмов есть общие элементы и последовательность действий, которые являются основой генетических алгоритмов и отличают их от многих других. Данная статья посвящена опыту конструирования конкретных вариантов генетического алгоритма.

1. ФОРМАЛИЗАЦИЯ ГЕНЕТИЧЕСКОГО АЛГОРИТМА

Генетический алгоритм — это математическая модель эволюции популяции искусственных особей. Формализация постановки задачи, на решение которой направлен алгоритм, такова.

В популяции каждая особь k характеризуется своей *хромосомой* S_k . Формально, хромосома есть цепочка символов $S_k = (S_{k1}, S_{k2}, \dots, S_{kN})$, где N — длина цепочки. Хромосома определяет *приспособленность* (*пригодность*) особи $f_k = f(S_k)$; $k = 1, 2, \dots, n$, n — численность популяции. Цель состоит в максимизации *функции приспособленности* $f(S_k)$, т. е. в нахождении особи с максимальной приспособленностью. Важно отметить, что генетический алгоритм ищет решение, как можно более близкое к оптимуму, но не гарантирует нахождение точного максимума функции приспособленности.

Эволюция популяции моделируется последовательностью *поколений* $\{S_k(t)\}$, $t = 0, 1, 2, \dots$ В каждый следующий момент времени его состав меняется с целью увеличения пригодности особей. Это и есть процесс *эволюции* популяции.

Для каждого следующего поколения отбираются особи с относительно большими значениями приспособленностей. Хромосомы приспособленных особей «скрещиваются» и подвергаются малым «мутациям». Отбор, скрещивание, мутация — все это является *генетическими операторами*, процедурами, применение которых позволяет получить новое поколение популяции.

Формально, *генетический алгоритм* — это любой алгоритм поиска приближенного решения поставленной задачи, построенный по следующей схеме, *схеме генетического алгоритма* (t -е поколение популяции обозначается как $\{S_k(t)\}$) [2, 3]:

Шаг 0. Создать случайную начальную популяцию $\{S_k(0)\}$.

Шаг 1. Вычислить приспособленность $f(S_k)$ каждой особи S_k популяции $\{S_k(t)\}$.

Шаг 2. Производя отбор особей из $\{S_k(t)\}$ в соответствии с их приспособленностями $f(S_k)$ и применяя генетические операторы (скрещивания и мутации) к отобранным особям для получения потомства, сформировать популяцию следующего поколения $\{S_k(t+1)\}$.

Шаг 3. Повторять шаги 1, 2 для $t = 0, 1, 2, \dots$ до тех пор, пока не выполнится некоторое условие окончания эволюционного поиска (прекращается рост максимальной приспособленности в популяции, число поколений t достигает заданного предела и т. п.).

Возможны различные варианты генетического алгоритма, которые отличаются по схемам отбора особей из текущего поколения в новое, операторам скрещивания и мутации хромосом особей, по форме представления хромосом и т. д. Традиционный вид генетического алгоритма базируется на следующей частной схеме [2, 3]:

1) цепочки символов в хромосомах бинарные (символы S_{ki} принимают значения 0 либо 1), длина цепочек постоянна ($N = \text{const}$);

2) метод отбора — пропорционально-вероятностный (см. далее);

3) скрещивания производятся по схеме одноточечного скрещивания (см. далее).

Схемы отбора. Пропорционально-вероятностный отбор означает, что отбор особей производится с вероятностями q_k , которые пропорциональны приспособленностям f_k особей $q_k = f_k / \sum f_i$. Эту схему

отбора можно представить как выбор особи с помощью рулетки, относительные площади секторов которой равны вероятностям $q_k = f_k / \sum f_i$.

Например, если текущее поколение состоит из 4-х особей S_1, S_2, S_3 и S_4 со значениями пригодности $f_1 = 2, f_2 = 4, f_3 = 1, f_4 = 1$, то в формировании нового поколения они будут участвовать с вероятностями соответственно 0,25, 0,5, 0,125 и 0,125 (рис. 1).

Чем выше пригодность особи (чем она «сильнее»), тем больше у нее шансов оставить потомство. По аналогии с реальной жизнью четыре раза вращается рулетка и четыре раза выбирается особь для скрещивания или мутации. Одна и та же особь может участвовать в формировании потомства несколько раз, вероятнее всего — это будет более приспособленная особь.

Известны и другие методы отбора. Например, отбор может быть *ранжированным*: все особи ранжируются, т. е. упорядочиваются по приспособ-

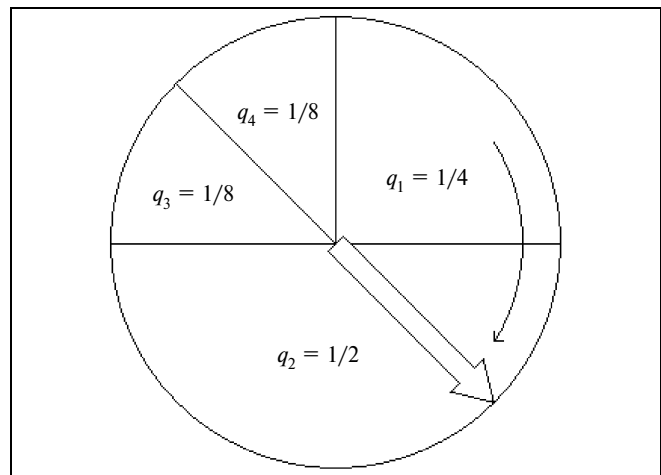


Рис. 1. Пример схемы отбора для $n = 4$ и $f(S_1) = 2, f(S_2) = 4, f(S_3) = 1, f(S_4) = 1$

ленностям, и заданная часть лучших особей (например, лучшая половина) отбирается для формирования следующего поколения.

Схемы скрещивания. Одноточечное скрещивание организуется следующим образом. Если есть два родителя с хромосомами $S_1 = (S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1N})$ и $S_2 = (S_{21}, S_{22}, \dots, S_{2N})$, то хромосомы их потомков в новом поколении есть $(S_{11}, \dots, S_{1m}, S_{2m+1}, \dots, S_{2N})$ и $(S_{21}, \dots, S_{2m}, S_{1m+1}, \dots, S_{1N})$; т. е. «голова» и «хвост» хромосомы потомка берутся от разных родителей. Точка скрещивания выбирается случайным образом, в приведенном примере она располагается между m -м и $(m+1)$ -м символами. Аналогичным образом может быть организовано *двухточечное* и *несколько-точечное* скрещивание.

Существует также понятие *инверсии*, это изменение порядка следования символов в участках хромосом. В некоторых схемах генетических алгоритмов используется *равномерное скрещивание*. Это означает, что два родителя имеют двух потомков, причем символы хромосомы одного из потомков выбираются случайно от любого из двух родителей (но с сохранением порядка следования символов), а второму потомку достаются оставшиеся символы. Например, два потомка родителей $S_1 = (S_{11}, S_{12}, \dots, S_{1N})$ и $S_2 = (S_{21}, S_{22}, \dots, S_{2N})$ могут иметь следующие хромосомы $(S_{11}, S_{22}, S_{13}, S_{14}, S_{25}, \dots, S_{2N})$ и $(S_{21}, S_{12}, S_{23}, S_{24}, S_{15}, \dots, S_{1N})$.

Известные схемы описанных типов генетических операторов — отбора, скрещивания, мутации — имеют множество разновидностей [2, 3]. Приведенные выше варианты дают представление о внутреннем устройстве генетических алгоритмов вообще и облегчают понимание конкретных реализаций метода, представленных в статье.



2. ДОСТОИНСТВА И НЕДОСТАТКИ ГЕНЕТИЧЕСКИХ АЛГОРИТМОВ

Перечислим признанные достоинства и недостатки известных реализаций генетического алгоритма.

Достоинства:

- широкая область применения генетических алгоритмов [4, 5];
- возможность проблемно-ориентированного кодирования решений, подбора начальной популяции, комбинирования генетических алгоритмов с даже незволюционными алгоритмами, продолжения процесса эволюции до тех пор, пока имеются необходимые ресурсы [6];
- пригодность для поиска в сложном пространстве решений большой размерности [7, 8];
- отсутствие ограничений на вид целевой функции (функции приспособленности) [9];
- ясность схемы построения генетических алгоритмов;
- интегрируемость с искусственными нейросетями и нечеткой логикой [9].

Недостатки:

- эвристический характер генетических алгоритмов не гарантирует оптимальности полученного решения (правда, на практике зачастую важно за заданное время получить одно или несколько рациональных решений, более или менее приближающихся к оптимальным; к тому же исходные данные в задаче могут динамически меняться, быть неточными или неполными);
- относительно высокая вычислительная трудоемкость, причинами которой является то обстоятельство, что в ходе моделирования эволюции многие решения отбрасываются как неперспективные (тем не менее, многочисленные экспериментальные данные указывают на то, что временная сложность генетических алгоритмов в среднем ниже, чем у лучших конкурирующих алгоритмов, но не более, чем на один порядок) [10];
- невысокая эффективность генетических алгоритмов на заключительных фазах моделирования эволюции; это объясняется тем, что генетические операторы не ориентированы на быстрое попадание в локальный оптимум.

Кроме того, анализ результатов использования генетических алгоритмов [11] позволяет выделить следующие признаки, при наличии которых задача решается генетическим алгоритмом более эффективно:

- большое пространство поиска, ландшафт которого является негладким (содержит несколько экстремумов);
- сложно формализуемая функция оценки качества решения (функция пригодности);
- многокритериальность поиска;

- поиск по заданным критериям приемлемого, а не единственного оптимального решения;
- многопараметричность задачи;
- поиск решения в режиме реального времени или близком к нему.

При использовании традиционных алгоритмов многопараметрического поиска для решения различных задач возникает ряд трудностей, к которым относятся [12]:

- резкий рост вычислительных затрат и времени поиска при увеличении числа варьируемых параметров («проклятие размерности»);
- локальный характер алгоритмов поиска, связанный с необходимостью вычисления производных (градиента) целевой функции на каждом шаге поиска;
- возможность «зависания» алгоритма поиска в окрестности одного из локальных экстремумов;
- низкая помехозащищенность алгоритма;
- низкая эффективность поиска при наличии «овражных» ситуаций.

Привлекательность генетических алгоритмов состоит именно в том, что они позволяют в значительной мере преодолеть указанные трудности.

3. ПОСТРОЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНОГО ПЛАНА РАСКРОЯ

Рассматриваемая задача — поиск рационального плана раскроя плоского объекта на предметы различной формы. Задачи такого рода впервые были поставлены еще в 1940-х гг. академиком Л.В. Канторовичем [25]. С тех пор появилось большое количество новых постановок и методов решения [13]. Однако существуют практически значимые постановки задач и технологические ограничения, для которых решение задачи раскроя и разработка новых методов решения по-прежнему актуальны [13–15].

Вообще, задача плоского раскроя — это оптимизационная задача поиска наиболее плотного размещения множества меньших по размеру плоских *предметов*, деталей, на больших *объектах*, заготовках. В Московском институте стали и сплавов (МИСиС) задача плоского раскроя была неформально поставлена следующим образом: имеется сырье, прямоугольные листы металла, которые требуется раскраивать с максимальной возможной экономией материала. Но при этом одновременно были поставлены две разные задачи раскроя:

- для лазерного технологического участка научно-исследовательской лаборатории процессов пластической деформации и упрочнения поставлена задача раскроя прямоугольных листов на прямоугольные предметы разного размера в заданном количестве (так называемая задача прямоугольного раскроя);

• кафедра обработки металлов давлением поставила задачу раскроя набора прямоугольных листов на круглые заготовки разного размера в заданном количестве (так называемая задача круглого раскроя).

Требуется подобрать алгоритм, с помощью которого можно эффективно решить обе задачи, не углубляясь в два принципиально различных исследования, и «не очень много теряя» из-за универсальности подхода к решению. Был выбран генетический алгоритм по следующим причинам:

во-первых, задача раскроя любого вида является NP-полной [25];

во-вторых, время получения решения для заказчиков предполагается порядка десятка секунд для размерности 100, это достаточно высокие требования ко времени;

в-третьих, один из их выдающихся результатов коллектива профессора Уфимского государственного авиационного технического университета Э.А. Мухачевой [13] — это внушительное по объемам исследование вопросов прямоугольного раскроя, которое показало, что в среднем генетические алгоритмы в различных модификациях дают лучшие результаты в сравнении другими методами.

Уже существуют подходы к решению задач рационального раскроя на предметы произвольной формы [26]. К сожалению, их неэффективно использовать в случаях, вырожденных до простых геометрических форм. Значительные средства, введенные в алгоритм [26] для обработки произвольности формы, прокручиваются вхолостую, занимая при этом все те же вычислительные мощности.

Было принято решение попробовать сконструировать некоторый универсальный подход к решению задач плоского раскроя на основе генетического алгоритма.

Итак, известная математическая постановка задачи прямоугольного раскроя (рис. 2) как задачи оптимизации такова. Заданы полубесконечная полоса ширины W (большой объект, на котором размещаются предметы), m прямоугольных предметов, длина и ширина которых известна как (l_i, w_i) , $i = 1, 2, \dots, m$, и условия, где (x_i, y_i) — координаты левого нижнего угла прямоугольника i на полосе:

— при размещении на полосе никакие два предмета не пересекаются друг с другом $((x_i \geq x_j + l_j) \vee (x_j \geq x_i + l_i)) \vee ((y_i \geq y_j + w_j) \vee (y_j \geq y_i + w_i))$ для $i, j = 1, 2, \dots, m, i \neq j$;

— никакой предмет не пересекает границ полосы $(x_i \geq 0) \wedge (y_i \geq 0) \wedge (y_i + w_i \leq W)$ для $i = 1, 2, \dots, m$.

Требуется так разместить на полубесконечной полосе набор прямоугольных предметов без перекрытий, чтобы занятая ими часть полосы была ми-

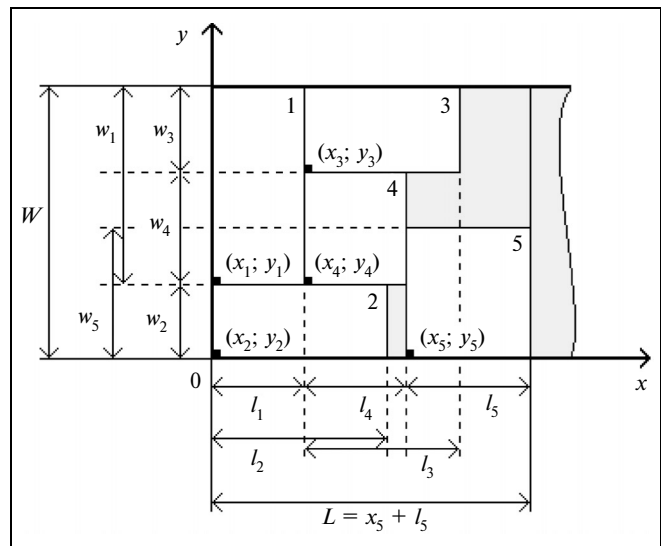


Рис. 2. Задача прямоугольного раскроя

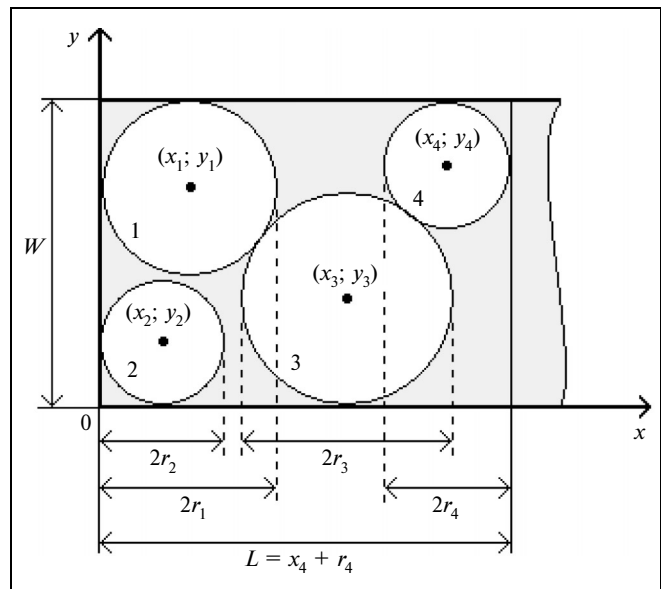


Рис. 3. Задача круглого раскроя

нимальна по длине; т. е., формально требуется найти такой набор (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, m$, чтобы $L = \max_i (x_i + l_i) \rightarrow \min$. Геометрический смысл переменных $W, L, (l_i, w_i), (x_i, y_i)$, $i = 1, 2, \dots, m$ проиллюстрирован на рис. 3.

Предлагаемая математическая постановка задачи круглого раскроя (рис. 3) такова. Заданы полубесконечная полоса ширины W , m круглых предметов, радиусы которых известны как r_i , $i = 1, 2, \dots, m$ и условия, где (x_i, y_i) — координаты центра окружности i на полосе:



— при размещении на полосе никакие два предмета не пересекаются друг с другом $(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2 \geq (r_i + r_j)^2$ для $i, j = 1, 2, \dots, m, i \neq j$;

— никакой предмет не пересекает границ полосы $(x_i - r_i \geq 0) \wedge (y_i - r_i \geq 0) \wedge (y_i + r_i \leq W)$ для $i = 1, 2, \dots, m$.

Требуется так разместить на полубесконечной полосе набор круглых предметов без перекрытий, чтобы занятая ими часть полосы была минимальна по длине; т. е., формально требуется найти такой набор $(x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, m$, чтобы $L = \max_i (x_i + r_i) \rightarrow$

$\rightarrow \min$. Геометрический смысл переменных $W, L, r_i, (x_i, y_i), i = 1, 2, \dots, m$ проиллюстрирован на рис. 3.

Для реализации генетического алгоритма особью предлагается считать любое размещение заданных предметов на полосе, удовлетворяющее условию задачи. Пусть все предметы некоторым образом пронумерованы. Тогда пусть хромосома — это перечисление всех номеров предметов в некотором порядке, отражающем их размещение. Физический внешний вид особи, конкретные координаты размещения предметов на полосе, можно получить, выложив предметы на полосу в порядке их перечисления в хромосоме по некоторым правилам переработки — декодирования. Эти правила называются процедурой декодирования, или декодером. Различные декодеры могут работать по разной схеме, но суть одна — выложить предметы на полосу согласно некоторому правилу в порядке, указанном в хромосоме. Правила являются эвристическими и содержательно строятся так, чтобы размещение было по возможности плотным.

В качестве критерия оптимизации, критерия оценки пригодности особи в поставленных задачах рассматривается длина полосы, занятая размещением предметов.

На рис. 4 и рис. 5 проиллюстрированы примеры результата работы двух разных декодеров для особи с хромосомой (4, 2, 5, 1, 3).

Для задачи прямоугольного раскроя коллективом Э.А. Мухачевой разработано понятие блок-структуры, с помощью которой удобно хранить информацию о размещении и рационально располагать каждый следующий предмет, учитывая ра-

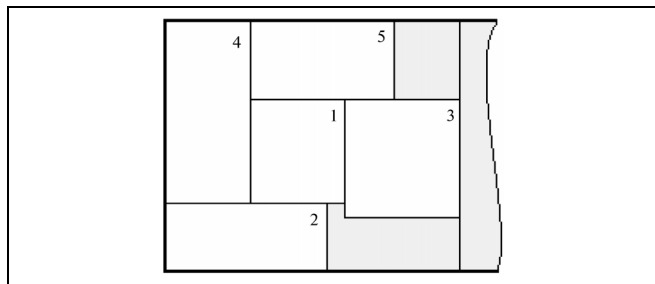


Рис. 4. Размещение прямоугольных предметов

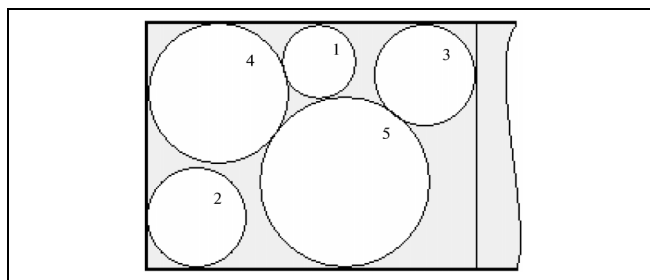


Рис. 5. Размещение круглых предметов

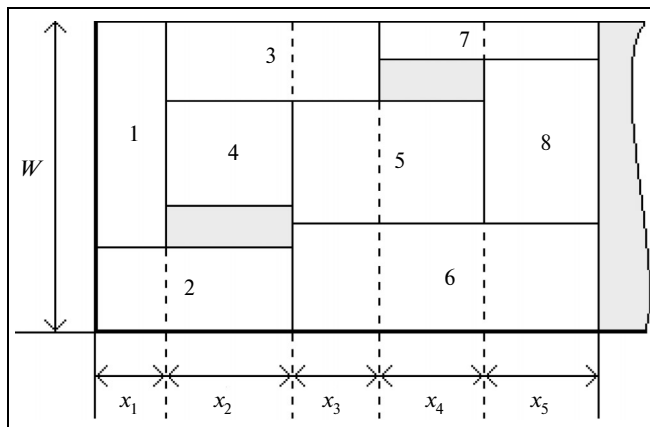


Рис. 6. Схема блок-структуры

нее образовавшиеся пустоты. На рис. 6 приведен пример размещения, имеющего структуру из пяти блоков, каждый из которых состоит из участков нескольких предметов и пустот.

Пустоты учитываются и нумеруются, начиная с числа, на единицу большего количества предметов, но со знаком минус. Декодер, работающий с такой структурой данных, называется блочным [13]. На рис. 6 размещение представлено в виде совокупности кортежей (блоков): $(1_j, 2_j, \dots)x_j$, где $j = 1, 2, \dots$. А именно: $(1; 2)x_1, (3; 4; -9; 2)x_2, (3; 5; 6)x_3, (7; -10; 5; 6)x_4, (7; 8; 6)x_5, (-11)x_6$. Дли-

на занятой части полосы $L = \sum_{j=1}^5 x_j$. Одна из осо-

бенностей блочного декодера в том, что размещая очередной предмет, он сначала проверяет все образовавшиеся ранее пустоты, подойдут ли они по размеру, для достижения большей плотности размещения.

Для задачи круглого раскроя был спроектирован специальный краевой декодер [15]. Краем считается неразрывная цепочка касающихся друг друга либо сторон полосы предметов, разделяющая все остальные предметы и незанятую часть полосы (рис. 7). Край размещения инициализируется последовательностью вида: $\{Lt, W, Lb\}$ — верх,

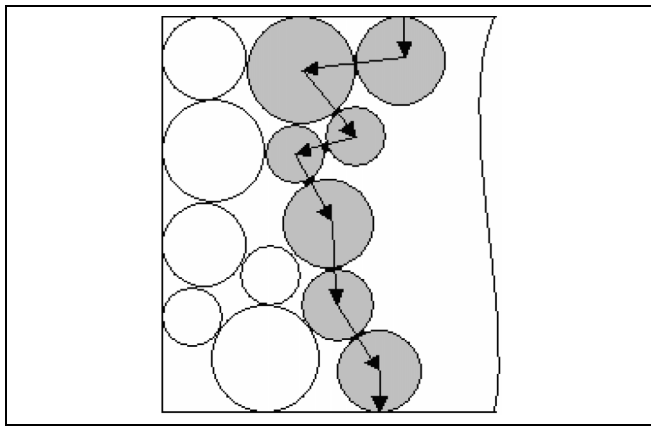
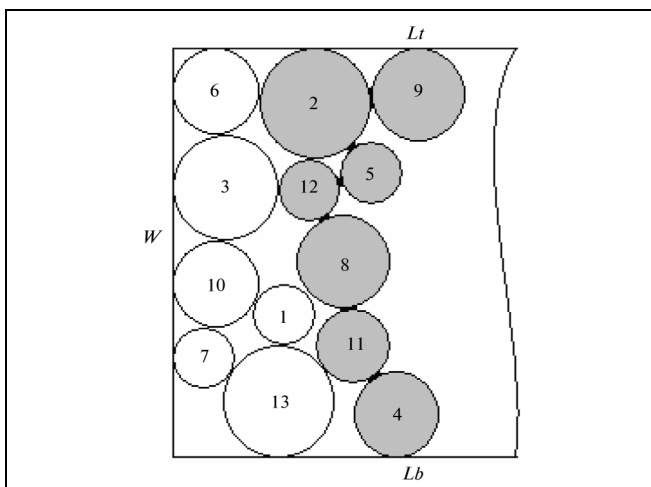


Рис. 7. Схема края размещения


Рис. 8. Формальная запись края размещения
 $\{L_t, 9, 2, 5, 12, 8, 11, 4, L_b\}$

торец, низ полосы соответственно. При добавлении предметов край видоизменяется. Формальная запись края размещения проиллюстрирована на рис. 8.

Для лучшего описания понятия края упаковки можно провести физическую аналогию. Пусть торец полосы W — дно двумерного стакана, нальем в него воду. Все хотя бы частично намокшие предметы — это край полосы.

При помощи специальной структуры данных краевой декодер хранит информацию о крае текущего размещения и располагает каждый следующий предмет вплотную к краю, минимизируя общую занятую предметами длину полосы.

Для решения обеих задач (прямоугольного и круглого раскроя) предлагается модификация генетического алгоритма, использующая процедуру декодирования как параметр. Сам генетический алгоритм (т. е. схема его работы, смены поколений), структура хромосомы, операторы мутации,

скрещивания, селекции не чувствительны к геометрии размещаемых предметов. Например, оператор мутации случайным образом переставляет два номера предметов в хромосоме. Оператор скрещивания двух хромосом порождает двух потомков. Начальный участок дочерней хромосомы совпадает со случайным участком хромосомы одного родителя, а конец состоит из оставшихся предметов, перечисленных в том порядке, в котором они следуют в хромосоме другого из родителей.

Например, оператор скрещивания (для случайных параметров $p = 3, q = 4$) для родителей $S_{p1} = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)$ и $S_{p1} = (4, 7, 9, 1, 2, 5, 3, 8, 6)$ порождает потомка $S_{c1} = (3, 4, 5, 6, 7, 9, 1, 2, 8)$ и для тех же родителей (для удобства понимания по-другому записанных) $S_{p2} = (4, 7, 9, 1, 2, 5, 3, 8, 6)$ и $S_{p1} = (1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9)$ — потомка $S_{c2} = (9, 1, 2, 5, 3, 4, 6, 7, 8)$. Оператор мутации (для случайных параметров $a = 2, b = 7$) исходную особь $S_p = (9, 8, 7, 6, 5, 4, 3, 2, 1)$ преобразует в особь вида $S_m = (9, 3, 7, 6, 5, 4, 8, 2, 1)$.

Генетический алгоритм, допускающий смену декодеров, и оба декодера были запрограммированы в визуальной среде разработки приложений Delphi. При этом смена декодера в генетическом алгоритме — тоже часть вычислительного эксперимента. Он показал, что оценочная полиномиальная сложность алгоритма и относительно невысокие времена работы программы не зависят от типа задачи. В то время как оценочная сложность блочного декодера пропорциональна квадрату размерности задачи (числу предметов), а краевого — линейно зависит от размерности. Качество размещения прямоугольных предметов получено в среднем не хуже, чем в работах профессора Э.А. Мухачевой. Качество размещения круглых предметов оценено специалистами кафедры как удовлетворительное.

Разработанный алгоритм ориентирован на расширение и модификацию. Смена декодера позволяет решать задачу раскроя полубесконечной полосы как на прямоугольные, так и на круглые предметы. Предположительно, если воспользоваться таким эвристическим приемом, как график Хэкманна [26], в качестве декодера, то тот же алгоритм возможно использовать для раскроя полубесконечной полосы на предметы нерегулярной формы.

Обе изначально поставленные задачи раскроя предполагают размещение предметов не на полубесконечной полосе, как обсуждалось при формализации задач, а на наборе прямоугольных листов. Разработанный автором алгоритм был модифицирован и для решения задач раскроя в таких, действительно прикладных, а не абстрактных постановках [27].



В реальном производстве, например, металлургическом, все листы имеют одинаковую ширину. Это выгодное обстоятельство дает возможность не рассматривать набор отдельных листов, а условно разбить на них непрерывную полосу. Предложено оставить в математической постановке задачи полубесконечную полосу, но добавить ограничение: предметы не должны пересекать границы между листами [27].

При модификации алгоритма остались неизменными все генетические операторы и сама схема работы генетического алгоритма.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как показывает опыт зарубежных и российских исследований [2–24], генетические алгоритмы успешно применяются для решения различных задач оптимизации, где трудно или невозможно воспользоваться другими методами. Среди них — задачи с большим пространством поиска с множеством экстремумов, задачи со сложно формализуемой целевой функцией, с необходимостью многокритериального поиска, поиска приемлемого, рационального, а не оптимального решения в рамках имеющихся ресурсов, многопараметрические задачи, задачи, решаемые в режиме реального времени. Более того, генетические алгоритмы, как видно из представленного в статье исследования, не только позволяют создать конкретные методы, с приемлемой эффективностью решающие отдельные сложные по тем или иным признакам задачи. Структура самого алгоритма дает возможность находить решение других задач того же класса, незначительно и/или определенным образом модифицируя метод, не разрабатывая новой структуры данных, не внедряя нового подхода к решению.

ЛИТЕРАТУРА

1. Holland J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems. — The University of Michigan Press, University of Michigan, Ann Arbor, 1975.
2. Редько В.Г. Эволюционная кибернетика. — М.: Наука, 2001. — 159 с.
3. Стецюра Г.Г. Эволюционные методы в задачах управления, выбора, оптимизации // Приборы и системы управления. — 1998. — № 3. — С. 54–62.
4. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. Состояние, проблемы, перспективы // Известия академии наук. Теория и системы управления. — 1999. — № 1. — С. 144–160.
5. Гудман Э.Д. Эволюционные вычисления и генетические алгоритмы // Обзорные прикладной и промышленной математики. — 1996. — Т. 3, вып. 5.
6. Де Янг К. Эволюционные вычисления: достижения и проблемы // Там же.
7. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. Обзор и состояние // Новости искусственного интеллекта. — 1998. — № 3.
8. Родзин С.И. Проектирование самотестируемых микросхем с применением метода генетического поиска // Изв. ТРТУ. — 1997. — № 3 (6).
9. Курейчик В.М., Родзин С.И. Эволюционные алгоритмы: генетическое программирование // Известия академии наук. Теория и системы управления. — 2002. — № 1. — С. 127–137.
10. Курейчик В.В. Эволюционные методы решения оптимизационных задач. Таганрог: Изд-во ТРТУ, 1999.
11. Куприянов М.С., Матвиенко Н.И. Генетические алгоритмы и их реализации в системах реального времени // Информационные технологии. — 2001. — № 1. — С. 17–21.
12. Васильев В.И., Ильясев Б.Г. Интеллектуальные системы управления с использованием генетических алгоритмов // Приложение к журналу «Информационные технологии». — 2000. — № 12. — 25 с.
13. Модели и методы решения задач ортогонального раскрой и упаковки: аналитический обзор и новая технология блочных структур / Э.А. Мухачева и др. // Приложение к журналу «Информационные технологии». — 2004. — № 5. — 32 с.
14. Подлазова А.В. Генетические алгоритмы в задачах плоского регулярного раскрой // Тр. II Междунар. конф. «Параллельные вычисления и задачи управления (РАСО'2004)» / Ин-т пробл. упр. — М., 2004. — С. 284–316.
15. Подлазова А.В. Двумерный раскрой и генетические алгоритмы: постановка и алгоритм решения задачи раскрой круглых предметов различного диаметра // Тез. докл. всерос. конф. «Высокопроизводительные вычисления и технологии (ВВТ'2003)» / Ин-т компьютерных исследований. — Ижевск, 2003. — С. 179–184.
16. Липницкий А.А. Применение генетических алгоритмов к задаче о размещении прямоугольников // Кибернетика и системный анализ. — 2002. — № 6. — С. 180–184.
17. Норенков И.П., Косачевский О.Т. Генетические алгоритмы комбинирования эвристик в задачах дискретной оптимизации // Информационные технологии. — 1999. — № 2. — С. 2–7.
18. Мухачева А.С., Чиглинец А.В. Генетический алгоритм поиска минимума в задачах двумерного гильотинного раскрой // Информационные технологии. — 2001. — № 3. — С. 27–31.
19. Задачи двумерной упаковки: развитие генетических алгоритмов на базе смешанных процедур локального поиска оптимального решения / Э.А. Мухачева и др. // Приложение к журналу «Информационные технологии». — 2001. — № 9. — 24 с.
20. Мухачева Э.А., Мухачева А.С., Чиглинец А.В. Генетический алгоритм блочной структуры в задачах двумерной упаковки // Информационные технологии. — 1999. — № 11. — С. 13–18.
21. Росс Клемент Генетические алгоритмы: почему они работают? Когда их применять? // Компьютерра. — 1999. — № 11. — С. 20–23.
22. Hopper H., Turton B.C.H. A review of the application of meta-heuristic algorithms to 2D strip packing problems // Artificial Intelligence Review. — 2001. — N 16. — P. 257–285.
23. Емельянов В.В., Курейчик В.М., Курейчик В.В. Теория и практика эволюционного моделирования. — М.: Физматлит, 2003. — 432 с.
24. Рутковская Д., Пилинский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы — М.: Горячая линия — Телеком, 2004. — 452 с.
25. Канторович Л.В., Залгаллер В.А. Рациональный раскрой промышленных материалов. — Новосибирск: Наука, 1971. — 300 с.
26. Верхотуров М.А. Задача нерегулярного раскрой плоских геометрических объектов: моделирование и расчет рационального раскрой // Информационные технологии. — 2000. — № 5. — С. 37–42.
27. Подлазова А.В. Разработка метода эффективного решения задач плоского раскрой с использованием генетических алгоритмов: Автореф. ... дис. канд. техн. наук. — М.: МИСиС, 2004. — 22 с.

e-mail: podlazova@yandex.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.С. Рыковым. □

СИСТЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ПОДВИЖНЫМ ВОЗДЕЙСТВИЕМ НА БАЗЕ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ МАТЛАВ

В.А. Кубышкин, В.С. Суховеров

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

Рассмотрены структура и состав компьютерной системы управления движением и мощностью подвижного источника нагрева. Представлены модели объекта и метод построения управления подвижным источником теплового воздействия. Описаны основные блоки системы и вариант ее исполнения в виде программного комплекса в среде MATLAB.

ВВЕДЕНИЕ

Применение мощных электронно-лучевых и лазерных установок в технологических процессах привело к появлению систем управления с подвижными источниками воздействия на объект (плавка, сварка, термообработка, напыление пленок в вакууме). Подвижный источник обеспечивает создание определенного температурного поля для получения заданных свойств объекта. Теоретическая постановка задач подвижного управления для систем с распределенными параметрами была дана в работах [1, 2]. Технические решения систем управления электронными и лазерными лучами были реализованы с помощью аналоговых устройств. Эти устройства были довольно громоздкими, а технологии их применения достаточно сложными [3–5]. Управление движением луча также было несовершенным, поскольку закон движения луча отображался электронным осциллографом, имеющим ограниченные возможности, а изменение скорости на одном из участков движения луча приводило к изменению скорости на остальных участках, создавая дополнительные трудности управления температурным полем. В настоящее время чаще всего системы управления разрабатываются с помощью средств программирования на компьютерной базе и реализуются средствами цифровой техники. Такой подход позволяет проектировать и разрабатывать сложные системы в виде программ и программных комплексов, которые сравнительно легко изменять и

корректировать в ходе разработки. Окончательный вариант системы можно использовать в виде программного комплекса или, если необходимо, реализовать в автономном микропроцессорном устройстве управления. Цель данной работы состояла в создании программного средства, позволяющего, с одной стороны, моделировать объект и процесс его обработки для расчета программного управления подвижным источником, а с другой, управлять подвижным источником в реальной установке. Поэтому программное средство должно состоять из блока моделирования и блока управления.

В блок моделирования входят программные модули:

- моделирования процесса распространения тепла в объекте управления;
- расчета закона управления подвижным источником;
- моделирования излучения подвижного источника при выбранном законе управления (программа управления движением и мощностью источника);
- расчета температурного поля для выбранного управления;
- экранный интерфейс пользователя для интерактивной работы с программами блока моделирования.

В блок управления (в перспективе) входят программные модули:

- формирования управляющих сигналов для цифроаналоговых преобразователей (ЦАП), пропорциональных мощности и положению центра источника относительно объекта;



— автоматической коррекции мощности и скорости движения источника на каждом участке траектории, работающий по сигналу аналого-цифрового преобразователя (АЦП) сканирующего пирометра;

— экранный интерфейс пользователя для интерактивной работы с программами блока управления.

Отметим, что рассматриваемую систему управления подвижным источником можно применять для зонной очистки металлов, выплавки слитков в плоских кристаллизаторах, сварки электронным лучом линейного и кольцевого стыков, термических испытаний в электронно-лучевых установках и др.

1. ОБЩАЯ СХЕМА И ОПИСАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

На рис. 1 показана схема системы управления подвижным источником энергии при выплавке слитков с помощью электронного луча в плоском кристаллизаторе. Электронный луч создается электронной пушкой. Его движение по поверхности расплавленного металла вдоль прямолинейной траектории управляется с помощью отклоняющей системы. Заготовка переплавляемого металла подается со скоростью $V_{\text{мет}}$. Попадая в зону действия электронного луча, металл расплавляется и стекает в кристаллизатор с охлаждаемыми стенками. В кристаллизаторе расплав затвердевает, и одновременно слиток вытягивается вниз со скоростью $V_{\text{выт}}$. Система управления формирует сигналы, управляющие мощностью электронного луча $p(t)$ и его движением $u(t)$. Задача управления — в ходе технологического процесса получить заданное распределение температуры на поверхности

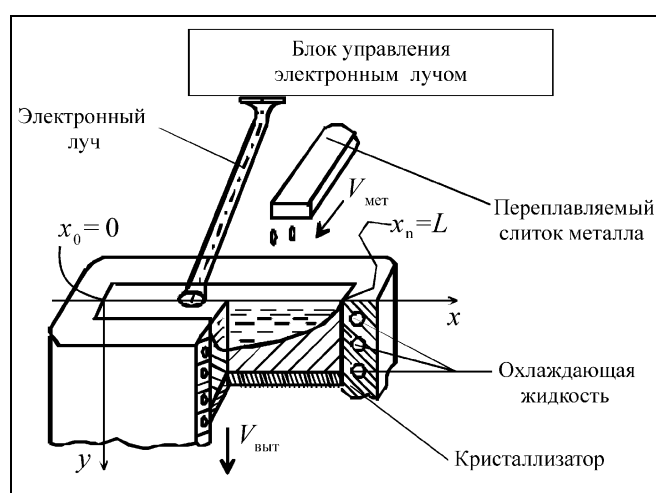


Рис. 1. Схема выплавки слитков в плоском кристаллизаторе

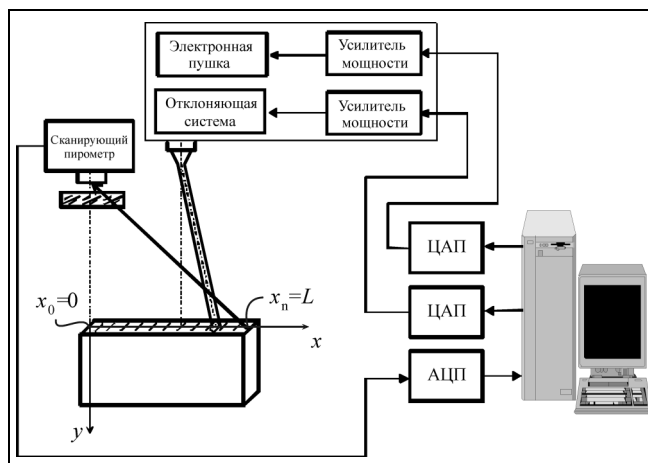


Рис. 2. Схема компьютерной системы управления подвижным источником

объекта и поддерживать его при наличии внешних возмущений. Во время работы центр источника тепла перемещается по прямолинейной траектории от ее начала, точки $x_0 = 0$, до конца, точки $x_0 = L$, и обратно. Такое движение называется циклическим или многоцикловым [6]. При этом интенсивность источника тепла можно изменять значительно медленнее прохождения центром источника отрезка $[0, L]$. Создание по длине объекта участков с различными заданными температурами достигается с помощью программного кусочно-непрерывного управления скоростью перемещения источника и изменения мощности источника. На рис. 2 показана принципиальная схема компьютерной системы управления подвижным источником энергии для установки, представленной на рис. 1. Отрезок $[0, L]$ разбивается на n равных интервалов $I_i = (x_{i-1}, x_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$. Для каждого интервала I_i на модели рассчитываются скорость движения источника $V_i(x)$, $x \in I_i$, соответствующий закон движения $s(t)$ центра источника при заданном времени T прохождения отрезка $[0, L]$ и требуемая мощность источника так, чтобы обеспечить заданное (чаще всего равномерное) распределение температуры на поверхности объекта. Сигнал с компьютера, изменяющийся пропорционально закону движения источника, через ЦАП поступает на усилитель мощности и далее на отклоняющую систему. Одновременно через второй ЦАП и соответствующий усилитель мощности на электронную пушку поступает сигнал, пропорциональный мощности источника тепла, необходимой для обеспечения заданного температурного поля. В случае отклонения на каком-либо участке температуры объекта от заданной (определяется визуально или по показаниям сканирующего пи-

рометра) корректируется скорость движения источника на этом участке, а при изменении интегральной температуры на отрезке $[0, L]$ — мощность источника.

2. МОДЕЛИ ОБЪЕКТА И МЕТОД РАСЧЕТА ПРОГРАММНОГО РАСПРЕДЕЛЕННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Программное управление подвижным источником рассчитывается так, чтобы в установившемся режиме обеспечить в определенной области объекта состояние, близкое к заданному. Модель, используемая в системе, зависит от объекта управления. В данной системе используются одномерная по пространственным координатам модель и двумерная по пространственным координатам модель с управлением, действующим на границе.

Одномерная модель:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{a}{A} \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + \frac{1}{c\rho S} F(x, t), \quad 0 < x < L, \quad t > 0, \quad (1)$$

$$\left[\alpha Q \mp \lambda \frac{\partial Q}{\partial x} \right]_{x=0}^{x=L} = g_{0,L}, \quad Q(x, 0) = Q_0(x). \quad (2)$$

Двумерная модель:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} = \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 Q}{\partial y^2}, \quad (x, y) \in (0, L) \times (0, H), \quad t > 0, \quad (3)$$

$$\left[\alpha Q \mp \lambda \frac{\partial Q}{\partial x} \right]_{x=0}^{x=L} = g_{0,L}, \quad (4)$$

$$\left[-\lambda \frac{\partial Q}{\partial y} - \varepsilon \sigma^* (Q_c - Q)^4 \right]_{y=0} = F(x, t), \quad x \in (0, L), \quad (5)$$

$$Q(x, H, t) = Q_H, \quad Q(x, y, 0) = Q_0(x, y). \quad (6)$$

Здесь Q — температура объекта в точке x (или в точке (x, y) для двумерной модели) в момент t ; $a = \lambda / c\rho$ — коэффициент температуропроводности объекта; λ , c и ρ — соответственно коэффициент теплопроводности, теплоемкость и плотность материала; S — поперечное сечение одномерного объекта; Q_c — температура среды на границе $y = 0$; Q_0 — начальное температурное поле; α — коэффициент теплоотдачи на границах $x = 0$ и $x = L$ объекта; σ^* — постоянная Стефана—Больцмана; $0 \leq \varepsilon \leq 1$ — степень черноты поверхности; $g_{0,L}$ и Q_H — заданные функции времени, определяющие теплоотвод с границ объектов, $F(x, t)$ — подвижное воздействие вида

$$F(x, t) = p(t)\psi(x - s(t), \sigma), \quad t \geq 0, \quad (7)$$

где $p(t)$ — закон изменения мощности подвижного источника тепла, $s(t)$, $0 \leq s(t) \leq L$, $t > 0$ — закон движения центра источника тепла; $\psi(x, \sigma)$ — функция, описывающая форму подвижного источника тепла. Параметр формы σ — число, определяющее степень концентрации подвижного источника тепла. В данной работе — это дисперсия, так как функция формы $\psi(x, \sigma)$ задается в виде функции Гаусса: $\psi(x, \sigma) = (1/2\pi\sigma)\exp((-1/2\sigma^2)x^2)$.

Установившийся температурный режим в объекте наступает при достаточно длительном перемещении подвижного источника от точки $x_0 = 0$ до точки $x_n = L$ (см. рис. 2) и обратно по периодическому закону при постоянной мощности. Температурное поле в объекте в этом случае становится периодическим по времени. Для расчета периодического закона движения и мощности подвижного источника применяется метод подстановки и реализации [6].

Метод реализации состоит в том, что подвижное управление источником заменяется распределенным управлением $\bar{F}(x, t)$, которое обеспечивает заданное температурное поле объекта. После этого определяются мощность и закон движения, которые реализуют найденное распределенное управление $\bar{F}^*(x, t)$.

В рассматриваемом случае требуется получить заданное температурное поле для установившегося режима, когда усредненное по времени температурное поле не изменяется во времени. Поэтому при расчетах в уравнениях (1) и (3) следует принять $\partial Q / \partial t = 0$, а подвижное управление $F(x, t)$ в правых частях уравнений (1) и (5) заменить распределенным управлением $\bar{F}(x)$, не зависящим от времени.

Для расчета распределенного управления применяется метод подстановки [6]. Он состоит в том, что в уравнение объекта подставляется специально подобранная функция $Q_A(x, t)$, которая аппроксимирует с заданной точностью желаемое состояние объекта. Пусть $Q^*(x) = Q^* = \text{const}$, $0 \leq x \leq L$. Тогда для одномерной модели аппроксимирующая функция для случая $\lambda \gg \alpha$ и $g_{0,L}(t) = 0$ в уравнении (2) записывается в виде:

$$Q_A(x) = \begin{cases} -k(x - \beta)^2 + Q^*, & x \in [0, \beta], \\ Q^*, & x \in [\beta, L - \beta], \\ -k(x - (L - \beta))^2 + Q^*, & x \in [L - \beta, L], \end{cases}$$

где $k = Q^* / \beta^2$, $[0, \beta]$ и $[(L - \beta), L]$ — отрезки, на которых производится согласование аппроксимирующей функции с граничными условиями при помощи квадратичной аппроксимации. Распреде-

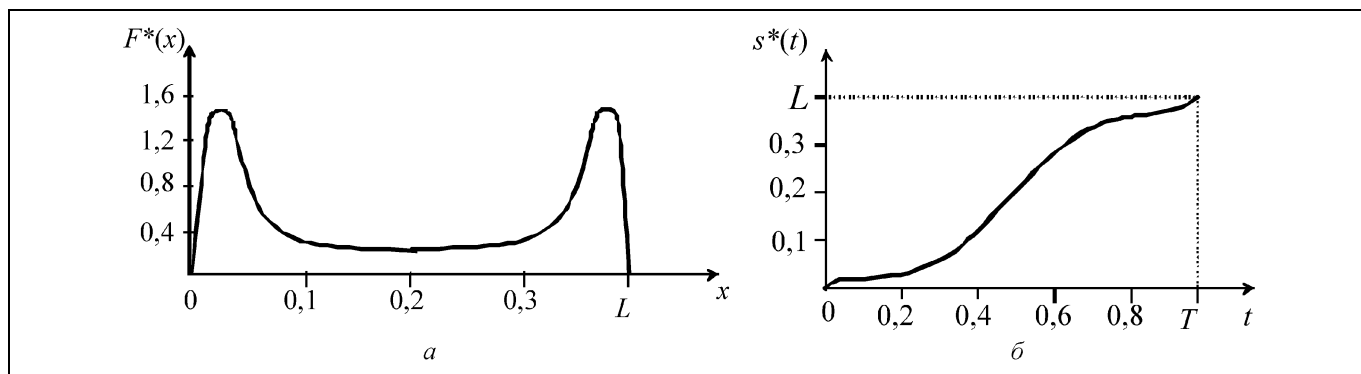


Рис. 3. Распределенное (а) $\bar{F}(x)$ и соответствующее ему подвижное (б) управление $s^*(t)$

ленное управление $\bar{F}^*(x)$ для такой задачи, рассчитанное методом подстановки функции $Q_A(x)$, имеет следующий вид:

$$\bar{F}^*(x) = -\lambda \frac{\partial^2 Q}{\partial x^2} = \begin{cases} 2k, & x \in [0, \beta], \\ 0, & x \in [\beta, (L - \beta)], \\ 2k, & x \in [L - \beta, L]. \end{cases}$$

Для двумерных по пространственным координатам объектов с граничным управлением метод подстановки имеет свои особенности, с которыми можно ознакомиться в работе [6]. В частности, для объекта (3)–(5) распределенное управление $F^*(x)$, обеспечивающее желаемое состояние объекта на поверхности $y = 0$ и найденное методом подстановки, показано на рис. 3.

3. РАСЧЕТ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ И МОЩНОСТЬЮ ИСТОЧНИКА

Для расчета программного закона движения $s^*(t)$ (в данном случае периодического с периодом T) и мощности p^* (в данном случае постоянной) требуется решить интегральное уравнение

$$\bar{F}^*(x) = p^* \int_0^T \psi(x - s^*(t), \sigma) dt.$$

В случае концентрированного источника (малого коэффициента σ) функцию $\psi(x, \sigma)$ можно приближенно заменить функцией Дирака $\delta(x_1)$. Тогда мощность и закон движения можно вычислить по приближенным формулам [6]:

$$p^* = \int_0^L \bar{F}^*(x) dx, \quad s^*(t) = \tau^{-1}(t), \quad \tau^*(x) = \frac{T}{p^*} \int_0^{x_1} \bar{F}^*(\xi) d\xi,$$

где $\tau^*(x)$ — функция, обратная функции $s^*(t)$. На рис. 3, б показан закон движения $s^*(t)$, соответст-

вующий распределенному управлению. В системе управления непрерывное распределенное управление $\bar{F}^*(x)$ заменяется кусочно-постоянной функцией $\bar{F}_c^*(x)$. Для этого отрезок $[0, L]$ разбивается на число интервалов, необходимых для эффективного управления (определяется пользователем). Значение функции $\bar{F}_c^*(x)$ на каждом интервале будет определять в соответствии с формулами (11) величину, обратную скорости движения центра источника на данном отрезке. Действительно:

$$V(x) = \frac{ds}{d\tau} = \frac{dx}{d\tau(x)}, \quad \frac{1}{V(x)} = \frac{d\tau}{dx} = \frac{T}{p^*} \bar{F}^*(x).$$

Тогда величина $1/V_i(x)$, обратная скорости и кусочно-линейная функция, обратная закону движения источника на интервале (x_{i-1}, x_i) , определяются по формулам:

$$\frac{1}{V_i(x)} = \frac{T}{p^*} \bar{F}_c^*(x), \quad \tau_c^*(x) = \frac{T}{p^*} \bar{F}_c^*(x)x + \tau(x^{i-1}), \\ x^{i-1} < x \leq x^i, \quad i = 1, 2, \dots, n.$$

Далее рассчитывается закон движения источника $s^*(t)$. В модели невозможно учесть все факторы, влияющие на температурное поле объекта. Поэтому программный закон движения корректируется экспериментально по показаниям пирометра или визуально. Величину $1/V_i(x)$ следует уменьшить, если на данном участке температура превышает заданную, и увеличить в противном случае. Аналогично корректируется программная мощность подвижного источника p^* . Неконтролируемые возмущения температурного поля можно компенсировать двумя способами: человеком-оператором или автоматически в соответствии с разработанным алгоритмом управления, например, непрерывным или разрывным в скользящем режиме [7].

4. ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС БЛОКА МОДЕЛИРОВАНИЯ

Программный комплекс блока моделирования предназначен для интерактивного моделирования процесса термообработки. Он разработан в среде программирования MATLAB с помощью инструментария утилиты GUIDE [8, 9] и содержит программные блоки, перечисленные во Введении.

Рассмотрим подробнее программные модули и работу интерфейса программного комплекса, с помощью которого обеспечивается интерактивная работа пользователя.

Главное окно (см. третью страницу обложки) программного комплекса содержит набор визуальных компонентов различного назначения. Раскрывающийся список (позиция 1) в верхней части окна позволяет выбрать материал объекта. Панель «Исходные данные счета» (п. 3) предназначена для задания размера объекта, времени движения источника нагрева от начала объекта до его конца, задания числа интервалов кусочно-непрерывного управления, задания числа шагов интегрирования по длине объекта и по времени движения. Координатная сетка (п. 2) служит для настройки закона управления подвижным источником. Поскольку движение источника организуется с помощью кусочно-непрерывного управления, на сетку выведены кусочно-постоянная функция $\bar{F}_c^*(x)$ (гистограмма времени прохождения центром подвижного источника интервалов I_i разбиения длины одномерного объекта) и кусочно-непрерывная функция соответствующего закона движения, отражающая прохождение источника вдоль объекта от начала до конца и обратно. Высота элемента гистограммы пропорциональна времени прохождения источником соответствующего интервала. Закон движения задается пользователем. Сначала на панели (п. 3) он задает число интервалов n кусочно-линейного управления на длине объекта. Каждому интервалу присваивается одно и то же значение времени прохождения подвижным источником. Это значение вычисляется из условия, что сумма времен всех интервалов равна времени прохождения источником длины объекта. Затем производится настройка времени прохождения подвижным источником каждого интервала.

Отмеченный для настройки интервал (панель «Выбор интервала», п. 4) выделяется другим цветом. Затем с помощью клавиатуры и мыши пользователь может изменять высоту элемента гистограммы, изменяя таким образом величину $1/V_i$, пропорциональную времени прохождения интер-

вала I_i подвижным источником. При этом сумма времен всех интервалов не меняется. Такая процедура позволяет получить нужный закон управления.

Панель «Параметры источника нагрева» (п. 5) служит для задания и изменения мощности и концентрации источника σ . Нажатие кнопки «Движение» воспроизводит на координатной сетке «Моделирование подвижного источника нагрева объекта» (п. 6) в режиме анимации перемещение источника (п. 6) со скоростями, пропорциональными скоростям на различных участках траектории. По кнопке «Счет» на панели «Движение источника» (п. 7) производится расчет температурного поля модели и последующее построение в отдельном окне температурного поля объекта при выбранном законе движения и мощности источника нагрева.

Температурное поле строится в координатах: время, положение по длине объекта и температура. На третьей странице обложки изображено температурное поле объекта для случая, когда закон движения источника таков, что время прохождения всех интервалов одинаково. Чтобы сделать разогрев объекта более равномерным по длине, необходимо увеличить время движения источника на интервалах, соответствующих концам объекта. На другом рисунке отражена ситуация, когда источник проходит концевые интервалы существенно медленнее, чем остальные. Температурное поле одномерного объекта рассчитывалось методом конечных разностей. Описание расчетной схемы моделирования приведено в Приложении.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрена принципиальная схема и состав компьютерной системы управления движением и мощностью подвижного источника нагрева. Разработан и описан вариант исполнения системы в виде программного комплекса, функционирующего в среде MATLAB. Программный комплекс позволяет получать и далее поддерживать заданное температурное поле вдоль одной координаты объекта. В приведенном варианте коррекция программного управления скоростью на каждом участке траектории и мощностью источника тепла производится человеком-оператором на основании показаний пирометра или по визуальным наблюдениям. В дальнейшем предполагается автоматизация системы, в частности, создание алгоритмов и разработка программных блоков автоматической коррекции мощности и скорости движения источника на каждом участке траектории. Для осуществления автоматической коррекции управления



подвижным источником необходима информация о температурном поле объекта. Трудности автоматической коррекции связаны, в первую очередь, с отсутствием приборов (в том числе сканирующих пирометров), обеспечивающих получение достаточно точной информации о действительном распределении температур в реальных объектах.

ПРИЛОЖЕНИЕ.

Математический аппарат численного решения задачи

Для численного расчета температурного поля одномерного объекта с подвижным воздействием применялась двухслойная разностная схема, определенная на шеститочечном шаблоне [10–12]. На области $\bar{D} = (0 \leq x \leq L, 0 \leq t \leq T)$, где x — пространственная координата, а t — временная, была задана сетка: $\omega_{ht} = \{x_i = ih, t_j = jt\}$, $i = 0, 1, \dots, N$, $j = 0, 1, \dots, M$, где $h = L/N$, а $\tau = T/M$. При этом непрерывной функции $Q(x, t)$ ставилась в соответствие сеточная функция $y(x_i, t_j)$. Значение сеточной функции в узле (x_i, t_j) : $y_i^j = y(x_i, t_j)$.

Используя граничные условия для непрерывной функции в точках $x_0 = 0$ и $x_N = L$, производим аппроксимацию для получения соответствующих сеточных значений.

Для точки $x_0 = 0$: $y_0^j = k_1 y_1^j + v_1$, где $k_1 = \frac{k}{h\theta + k}$; $v_1 = \frac{h}{h\theta + k} Q_c^1$.

Для точки $x_N = L$: $y_N^j = k_2 y_{N-1}^j + v_2$, где $k_2 = \frac{k}{h\theta + k}$; $v_2 = \frac{h}{h\theta + k} Q_c^2$.

Аппроксимируем уравнение теплопроводности, используя сеточную функцию:

$$\frac{y_i^{j+1} - y_i^j}{\tau} = \frac{a}{S} \left[\sigma \frac{y_{i-1}^{j+1} - 2y_i^{j+1} + y_{i+1}^{j+1}}{h^2} + (1 - \sigma) \frac{y_{i-1}^j - 2y_i^j + y_{i+1}^j}{h^2} \right] + \frac{1}{c\rho S} \varphi_i^{j+1},$$

где $1 \leq i \leq N-1$, $0 \leq \sigma \leq 1$, $\varphi_i^{j+1} = F(x_i, t_j)$.

В результате преобразований получаем систему уравнений $A_i y_{i-1}^{j+1} - C_i y_i^{j+1} + B_i y_{i+1}^{j+1} = -F_i^j$ с краевыми условиями:

$$y_0^j = k_1 y_1^j + v_1, \quad (П1)$$

$$y_N^j = k_2 y_{N-1}^j + v_2. \quad (П2)$$

Далее приведена схема программы счета.

1. Задание параметров управления в соответствии с выражениями (4) — (7):

- геометрические параметры L и S ;
- теплотехнические параметры: a , λ , c , ρ и α ;
- граничные условия 1-го рода: $\alpha_r = 1$, $\lambda_r = 0$ или 3 рода:

$\alpha_r = \alpha$, $\lambda_r = \lambda$; температура на левой границе Q_c^1 ; температура на правой границе Q_c^2 ;

- начальные условия $Q_0(x)$ — аналитически или таблично;
- источник воздействия $F(x, t)$ — аналитически;
- реальное время процесса нагрева T .

2. Задание параметров модели: N — число отрезков разбиения по оси x ; M — число отрезков разбиения по оси t .

3. Задание и расчет параметров моделирования: $h = L/N$ — шаг по длине (для одномерного случая), $\tau = T/M$ — шаг по времени; $a_1 = a/S$; $b_1 = 1/c\rho S$; $k = \lambda_r/\alpha_r$; $\theta = 1/\alpha_r$; k_1 ; v_1 ; k_2 ; v_2 .

4. Расчет температурного поля методом прогонки [5]:

сначала при $i = 0$ из формулы (П1) находим: $\alpha_1 = k_1$, $\beta_1 = v_1$ и во время прямой прогонки на слое j определяем

$$\alpha_{i+1} = \frac{B_i}{C_i - A_i \alpha_i}, \quad \beta_{i+1} = \frac{A_i \beta_i + F_i}{C_i - A_i \alpha_i}, \quad i = 1, 2, \dots, N-1;$$

затем находим на $(j+1)$ -м слое на величину $y_N^{j+1} = \frac{v_2 + k_2 \beta_N}{1 - k_2 \alpha_N}$,

где v_2 и k_2 определяются из формулы (П2); при обратной прогонке вычисляем $y_i^{j+1} = \alpha_{i+1} y_{i+1}^{j+1} + \beta_{i+1}$, $i = N-1, \dots, 1$.

Получив значения y_i^{j+1} , $0 \leq i \leq N$ на слое $j+1$, переходим к слою $j+2$, определяем y_i^{j+2} и так далее для всех $j = 1, 2, 3, \dots, M$. Для $j = 0$ значения y_i^0 заданы в начальных условиях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бутковский А.Г., Даринский Ю.В., Пустыльников Л.М. Управление распределенными системами путем перемещения источника // Автоматика и телемеханика. — 1974. — № 5.
2. Бутковский А.Г., Пустыльников Л.М. Теория подвижного управления системами с распределенными параметрами. — М.: Наука, 1980.
3. Чубаров Е.П. Управление системами с подвижными источниками воздействия. — М.: Энергоатомиздат, 1985.
4. Емельянов А.Н. Исследование управляющих возможностей систем программной развертки электронного луча / В кн. Управление распределенными системами с подвижным воздействием. — М.: Наука, 1979.
5. Митрофанов В.Е. Принципы построения генераторов развертки луча в электронно-лучевых термических установках / В кн. Управление распределенными системами с подвижным воздействием. — М.: Наука, 1979.
6. Кубышкин В.А., Финягина В.И. Подвижное управление в системах с распределенными параметрами. — М.: СИНТЕГ, 2005.
7. Применение скользящих режимов для управления объектами с распределенными параметрами с подвижным многоцикловым воздействием / А.М. Брегер, А.Г. Бутковский, В.А. Кубышкин, В.И. Уткин // Автоматика и телемеханика. — 1980. — № 3. — С. 72–83.
8. Мартынов Н.Н., Иванов А.П. MATLAB 5.X. Вычисления, визуализация, программирование. — М.: КУДИЦ-ОБРАЗ, 2000.
9. Дьяконов В.П., Абраменкова И.В. MATLAB 5.0/5.3. Система символьной математики. — М.: Нолидж, 1999.
10. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики. — М.: Наука, 1972.
11. Самарский А.А. Введение в численные методы. — М.: Наука, 1987.
12. Самарский А.А. Теория разностных схем. — М.: Наука, 1977.

☎ (495) 334-76-90, e-mail: vicalkub@ipu.ru, suhoverv@ipu.ru

Статья представлена к публикации членом редколлегии А.Г. Бутковским. □

СИНТЕЗ ПРОГНОЗИРУЮЩЕГО АЛГОРИТМА ПРОГРАММНОГО РАЗВОРОТА БОЛЬШОЙ КОСМИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ С ИЗМЕНЯЮЩИМИСЯ ПАРАМЕТРАМИ¹

А.Б. Шубин, Е.Г. Александров, Г.Г. Харченков

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

Предложен алгоритм программного управления ориентацией упругой конструкции, обеспечивающий прогнозирование конечного состояния и его последовательную коррекцию. Показано, что дискретное управление обеспечивает быстрый разворот объекта на заданный угол и удерживает его в данном положении с одновременным гашением упругих колебаний конструкции благодаря подаче импульсов управления, формируемых с учетом необходимости удержания углового положения объекта в области допустимых отклонений. Приведен пример реализации предложенного алгоритма.

ВВЕДЕНИЕ

Существует большой класс задач управления техническими устройствами, в которых управляющее воздействие принимает дискретные значения, например -1 , 0 , $+1$. С помощью такого управления можно обеспечивать максимальное быстродействие, применяя для вычисления управления принцип максимума Понтрягина [1]. Известен также ряд других методов формирования кусочно-непрерывного управления, например, метод динамического программирования [2] или методы оптимального управления [3].

В данной статье описывается применение алгоритмов программного управления (АПУ) для решения задачи управления угловым движением большой космической конструкции (БКК) с изменяющимися в процессе сборки параметрами ее математической модели. Предложенный в работе [4] алгоритм управления ориентацией БКК можно после некоторой доработки применить для синтеза системы управления собираемой на орбите

БКК, модель которой представляет собой последовательность «сшитых» по краям линейных моделей, отличающихся друг от друга значениями коэффициентов, дискретно изменяющихся в крайних точках. При данном способе управления используется принцип прогнозирования конечного состояния и его последовательной коррекции с целью минимизации отклонения вектора регулируемых координат от требуемого значения в конечной точке.

Введение интервалов нулевого управления позволяет экономить ресурс управления при гашении упругих колебаний. Кроме того, модификация исходного алгоритма [4] предусматривает введение процедуры подстройки коэффициентов модели БКК на отдельных этапах ее сборки.

В соответствии с АПУ вычисляется воздействие на объект кусочно-постоянного управления, переводящего его из известной точки фазового пространства в заданное конечное состояние. Реализация АПУ осуществляется на ЦВМ и предполагает знание дифференциального уравнения или системы уравнений, описывающих объект, а также возможность моделирования таких уравнений на ЦВМ с достаточной точностью. В том случае, когда параметры объекта плохо определены или из-

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, проект № 05-08-18175.



меняются во времени, возможно применение соответствующих методов идентификации.

По-видимому, особенно эффективно применять АПУ для управления движением механических конструкций, соединенных упругими связями, в случае, когда управляющее воздействие прикладывается только к одному, обычно главному, элементу конструкции, роль которого выполняет корпус [5, 6]. В конце цикла управления фазовые координаты элементов должны принимать заданное значение.

Алгоритмы программного управления позволяют решать такие задачи при управлении ± 1 . Однако простейшее двухпозиционное управление с числом интервалов, равным сумме порядков дифференциальных уравнений, описывающих динамику конструкции, часто приводит к большим затратам ресурса управления. Модифицированные трехпозиционные АПУ, содержащие интервалы нулевого управления, минимизируют суммарную длительность участков активного управления и позволяют учесть значения фазовых координат, определяющих колебания, в целях выбора благоприятных моментов начала интервалов активного управления.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ОПИСАНИЕ АЛГОРИТМА ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

Пусть объект описывается уравнением

$$x^{(n)} + G(x^{(n-1)}, \dots, x) = u(t), \quad u(t) = \pm 1. \quad (1)$$

Обозначим $x = x_1$, $x^{(1)} = x_2$, ..., $x^{(n-1)} = x_n$. Всю совокупность координат обозначим $\bar{X}$. Задача заключается в том, чтобы найти управление $u(t)$ $0 \leq t \leq T$ с n участками постоянства такое, что при подстановке его в уравнение (1) решение последнего, имеющее в момент $t = 0$ координаты $\bar{X}_0$, в некоторый момент $t = T$ будет иметь заданные значения координат $\bar{X}_*$.

Предполагается, что $\bar{X}_* \in DX_*$, где DX_* — область достижимости, т. е. существует управление $u(t)$, решающее данную задачу. Очевидно, что область DX_* зависит как от вида дифференциального уравнения, так и от $\bar{X}_*$. Определение области достижимости DX_* — задача чрезвычайно сложная, АПУ прост и может служить вычислительным инструментом определения DX_* .

Управляющее воздействие на объект, вычисляемое в соответствии с АПУ, представляет собой некоторую знакопеременную функцию на интервале времени управления, причем число перемен знака равно $n - 1$, где n — порядок уравнения,

описывающего объект. В простейшем случае управление может принимать два значения, например, ± 1 . В этом случае получаем управление, имеющее n участков постоянства знака и значения управления.

Большое число технических объектов, описываемых дифференциальными уравнениями n -го порядка, обладают достаточно эффективными органами управления, позволяющими приводить фазовые координаты объектов в требуемое состояние путем подачи на органы управления некоторой знакопеременной функции (программы), имеющей n интервалов постоянства. Разумеется, есть некоторое небольшое число состояний объекта, из которых объект приводится в заданное состояние путем управления, содержащим меньшее, чем n , число участков постоянства.

Основной принцип, заложенный в АПУ, описан в работе [4]. Кратко напомним его и введем обозначения. Каждой функции $u(t)$ с n участками постоянства соответствует вектор $\bar{S}$ с компонентами $\{s_1, s_2, \dots, s_k, \dots, s_n\}$ размерностью n такой, что на k -м участке постоянства продолжительность k -го участка равна $\tau_k = |s_k|$, а значение управления $u(t) = \text{sign}(s_k)$. Таким образом, вектор $\bar{S}$ полностью определяет функцию $u(t)$ на отрезке $0 \leq t \leq T$, где

$$T = \sum_{i=1}^n |s_i|. \quad (2)$$

Компоненты s_k вектора $\bar{S}$ назовем координатами управления. Фазовые координаты $x_i(t)$ зависят от управления $u(t)$, но нас будут интересовать только значения координат в момент T , а также их зависимость от координат управления. Поэтому целесообразно ввести функции

$$F_{i,j}(\bar{S}) = \frac{\partial x_i(T)}{\partial s_j} \approx \frac{\Delta x_i(T)}{\Delta s_j}, \quad i, j = 1, 2, \dots, n. \quad (3)$$

Аналитические выражения для $x_i(T)$, тем более для функций (3), неизвестны. Однако современный уровень вычислительной техники позволяет путем решения уравнения (1) получать за короткий промежуток времени как значения $x_i(T)$, $i = 1, 2, \dots, n$, так и оценки значений функций (3).

Согласно работе [4], итеративная процедура АПУ состоит в следующем. Пусть на шаге итерации m имеется совокупность координат управления $\bar{S}^{(m)}$, определяющая уравнение $u^{(m)}(t)$. В конце решения (2) уравнения (1) получим конечные значения фазовых координат $x_i(T)$, $i = 1, 2, \dots, n$. Обозначим заданные значения координат x_{*i} , $i = 1, 2,$

..., n . Вычислим значения ошибок попадания фазовых координат в заданную точку:

$$D_i^{(m)} = x_{*i} - x_i(T), \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (4)$$

Заметим, что при таком определении D_i согласно выражениям (3) и (4)

$$\frac{dD_i}{ds_j} = -F_{i,j}.$$

Вычислим следующее приближение координат управления:

$$s_i^{(m+1)} = s_i^{(m)} + \frac{\alpha_i}{F_{i,i}} D_i^{(m)}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

где коэффициенты $\alpha_i < 1$, $\alpha_i < \alpha_{i+1}$. В случае небольшого порядка уравнения (1) $n = 2 \dots 4$, α_i можно принять постоянными. При $n = 5 \dots 12$ лучшую сходимость алгоритма обеспечивают переменные коэффициенты α_i , причем $\alpha_i \leq 1$ и $\alpha_i = \alpha_i(D_{i+1}, D_{i+2}, \dots, D_n)$, где α_i — монотонно убывающие функции от ошибок $|D_i|$, причем $\alpha_{i-1} < \alpha_i$, $\alpha_i(0, 0, \dots, 0) = 1$. Назначение коэффициентов α_i — обеспечить более быструю настройку к заданным конечным значениям высших производных в уравнении (1), т. е. чем выше производная x_i , тем быстрее она настраивается на заданное конечное значение путем изменения координаты s_i управления.

Подставляя в уравнение (1) новое значение управления $u(t)$, определяемое величиной $\bar{S}^{(m+1)}$, аналогичным образом проведем решение на ЦВМ и получим новые значения $x_i(T)$. Индексы итераций $(m+1)$ у величин $x_i(T)$, $u(t)$, T для простоты опущены. Произведя несколько десятков или сотен итераций (5), получим значения $|D_i^{(m)}|$, $i = 1, 2, \dots, n$, требуемой малости. Число итераций зависит от сложности задачи: размерности n , наличия нелинейностей, устойчивости решения и др. Обычно для контроля хода решения и определения момента окончания решения задачи для каждой итерации вычисляется мера отклонения конечных значений фазовых координат от заданных:

$$Q^{(m)} = \sum_{i=1}^n |D_i^{(m)}|.$$

Решение задачи целесообразно начинать с вектора $S_i = 0$, $i = 1, \dots, n$. При этом разность $\Delta = Q^{(m)} - Q^{(m+1)}$ может менять знак. Однако, начиная с некоторого шага, величина Δ становится положительной и уменьшается со скоростью геометрической прогрессии.

2. ПРИМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ УПРАВЛЕНИЯ РАЗВОРОТОМ КОСМИЧЕСКОЙ КОНСТРУКЦИИ

Разворот БКК в одной плоскости можно с достаточной точностью описать в форме сложного переносного («жесткого») и относительного («упругого») движений. Каждое движение описывается своим дифференциальным уравнением, однако управляющее воздействие у них общее, но с разными коэффициентами [5]. Поэтому эти движения можно представить в виде отдельных блоков. Обычно замеру доступно только суммарное движение, однако существуют эффективные методы определения отдельных его составляющих [8].

Для подобных сложных объектов можно предложить алгоритмы вычисления управлений, которые решают задачи приведения всех координат нескольких блоков в заданное состояние. В таких случаях целесообразно применение АПУ, так как легко просчитать варианты: если один блок привести в заданное состояние, то в какое состояние придут другие блоки. Рассмотрим структурную схему, изображенную на рис. 1.

Пусть блок X описывается уравнением

$$\ddot{x} = au, \quad (6)$$

блок Y — уравнением

$$\ddot{y} + b_1 \dot{y} = b_2 u. \quad (7)$$

В данном случае для двух дифференциальных уравнений с произвольными начальными значениями координат необходимо сформировать управление $u(t)$, которое приводит координаты объекта к нулевым значениям. Управление может принимать три значения: $+1$, 0 , -1 .

В рассматриваемом случае, когда управление поступает одновременно на несколько блоков, на-

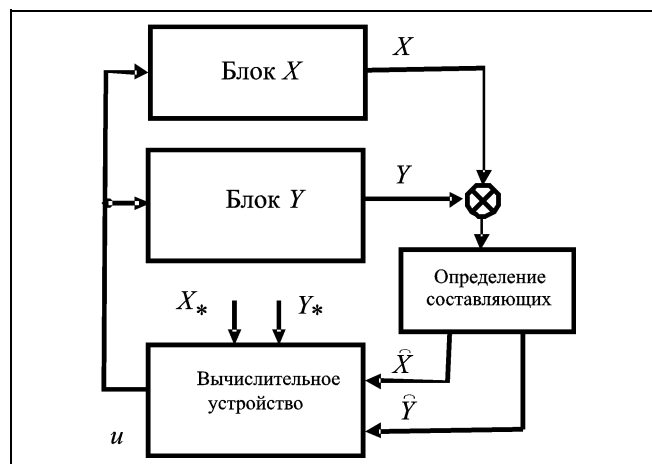


Рис. 1. Структурная схема задачи

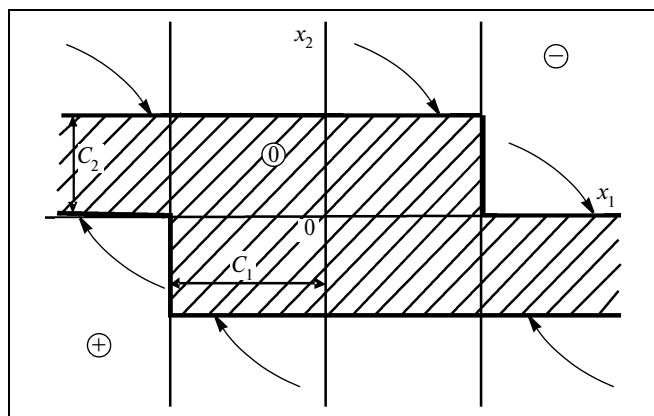


Рис. 2. Фазовая плоскость с областями значений управления

личие нулевого управления весьма целесообразно, поскольку дискретное двухпозиционное управление имеет большой коэффициент влияния, а нулевые участки управления позволяют уменьшить колебания фазовых координат при движении в заданную область, а также при пребывании в ней.

Введем следующие обозначения: $x_1 = x$, $x_2 = \dot{x}$, $y_1 = y$, $y_2 = \dot{y}$. Пусть заданная область определяется зоной нечувствительности по выходным координатам $-c_1 < x < c_1$, $-c_2 < y < c_2$.

Область нулевого управления целесообразно выбрать как заштрихованную область на рис. 2. Эта область определяется отрезками вертикальных и $x_1 = c_1$ и $x_1 = -c_1$ и горизонтальных прямых $x_2 = c_2$ при $x_1 > -c_1$ и $x_2 = -c_2$ при $x_1 < -c_1$. В этой области координаты блока X при нулевом управлении движутся к заданной области. Координаты блока Y при нулевом управлении движутся на фазовой плоскости по замкнутому эллипсу вокруг нулевой точки.

В дальнейшем будем искать управление на достаточно малых дискретных интервалах времени Δt . Для определения управления в произвольной точке $(\bar{X}^0, \bar{Y}^0)$ на временном интервале квантования вычислений производятся следующие операции.

1. При помощи АПУ на модели вычисляется программное управление S_y , которое приводит блок Y в заданное нулевое положение. Вычисляется состояние $\bar{X}(S_y)$, в которое приходит блок X при реализации управления S_y . Если это состояние попадает в зону нулевого управления с дополнительным условием

$$u(\bar{X}(S_y)) = 0 \text{ и } |x_1^0| \geq |x_1(S_y)|, \quad (8)$$

то реализуется управление S_y .

2. Если условие (8) не выполняется, то значение управления на интервале Δt определяется по положению координат блока X согласно рис. 2.

3. Если координаты блока X находятся в зоне нулевого управления, а координаты блока Y значительно отличаются от заданных значений, т. е.

$$|y_1^0| + |y_2^0| > c_3,$$

то вычисляется критерий наибольшего эффекта управления для блока Y . Для этого вычисляется посредством АПУ управление S_y , приводящее блок Y в нулевое состояние, по которому вычисляется критерий

$$k = \min\{s_1(y_1^0, y_2^0), s_2(y_1^0, y_2^0)\} / \max\{s_1(y_1^0, y_2^0), s_2(y_1^0, y_2^0)\}.$$

Очевидно, что при $k \approx 0$ блок Y находится в таком состоянии, что за один интервал управления он приходит в заданное положение. Практически выполнение условия $k < c_4$ можно считать достаточным для реализации управления, приближающего координаты блока Y заданному значению:

$$s = s_1(y_1^0, y_2^0),$$

$$s = s_2(y_1^0, y_2^0) \text{ при } |s_1(y_1^0, y_2^0)| < c_5,$$

$$u = \text{sign}(s).$$

Это управление действует только на интервале времени Δt после чего операции 1–3 повторяются.

При нулевом управлении координаты блока Y описывают на фазовой плоскости замкнутый эллипс. Посредством АПУ легко вычисляется управление (координаты управления), которое переводит координаты блока Y в нуль. Можно вычислить множество точек, в которые при этом переходит блок X . На диаграмме (рис. 3) изображены множество координат блока Y , координаты управления S и множество точек X . Для удобства соотнесения отдельных точек кривых одноименные точки помечены одинаковыми цифрами. Отметим, что подобная методика может применяться и для объектов, описываемых более сложными дифференциальными уравнениями, в том числе и нелинейными.

Анализ диаграммы позволяет сделать следующие выводы. В процессе колебаний координат блока Y существуют два значения координат таких, что управление, переводящее блок Y в заданное положение, переводит блок X в состояния $\{x_m, 0\}$ и $\{-x_m, 0\}$. Таким образом, существуют такие значения координат блока Y , при которых управление S_y

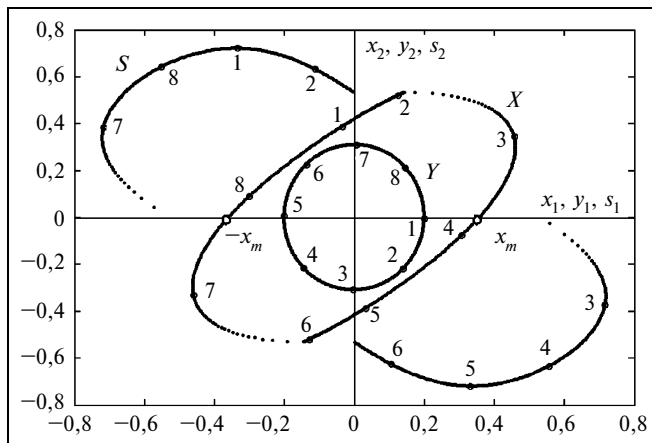


Рис. 3. Диаграмма взаимного расположения начальных точек блока Y , конечных координат блока X и соответствующих координат управления

не выводит блок X из состояния, соответствующего нулевому управлению.

Кроме того, существуют два положения блока Y , при которых длительность управления, переводящего его в нулевое положение, имеет минимальное значение. Это именно те точки, в которых це-

лесообразно уменьшать или гасить колебания, поскольку при этом блок X испытывает наименьшие возмущения.

Реализация алгоритма показала хорошую сходимость координат обоих блоков X и Y к заданным значениям. На рис. 4, *а* приведены траектории $x_1(t)$, $x_2(t)$ и $y_1(t)$, $y_2(t)$ на фазовой плоскости для случая, когда большое отклонение от заданного значения у блока X и малое у блока Y . На рис. 5, *а* то же, но при малом отклонении начальных условий блока X и большом у блока Y . Моделирование проводилось при значениях констант алгоритма $c_1 = 0,03$, $c_2 = 0,05$, $c_3 = 0,2$, $c_4 = 0,15$, $c_5 = 0,005$.

Аналогичные два варианта переходных процессов из тех же начальных условий, но развернутых по времени, представлены на рис. 4, *б* и 5, *б*.

3. ПОДСТРОЙКА ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РЕАЛЬНОГО ОБЪЕКТА

Решение задач управления реальными объектами с высоким быстродействием требует знания коэффициентов дифференциального уравнения, описывающего изменение координат объекта. Часто эти коэффициенты известны лишь приблизительно-

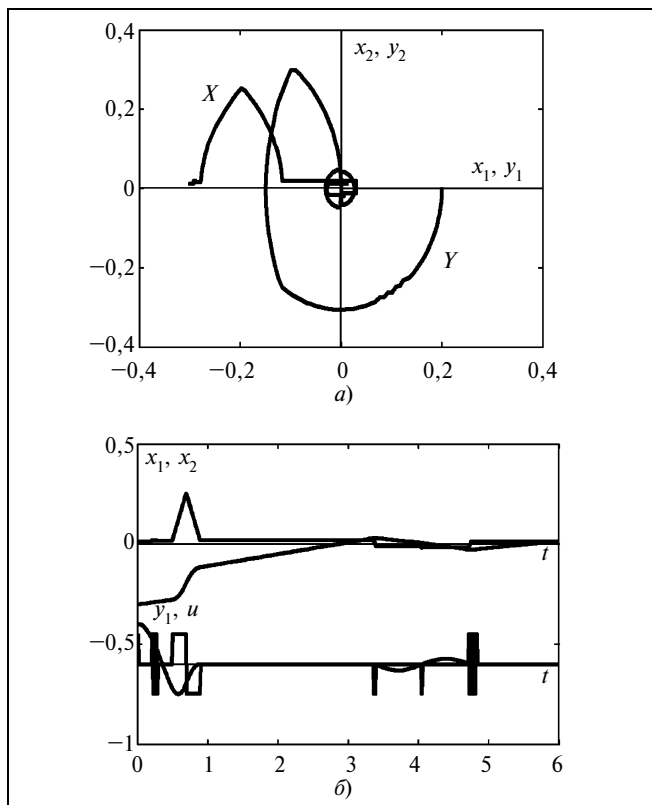


Рис. 4. Фазовые траектории (*а*) и переходный процесс (*б*) блоков при больших начальных значениях координат блока X

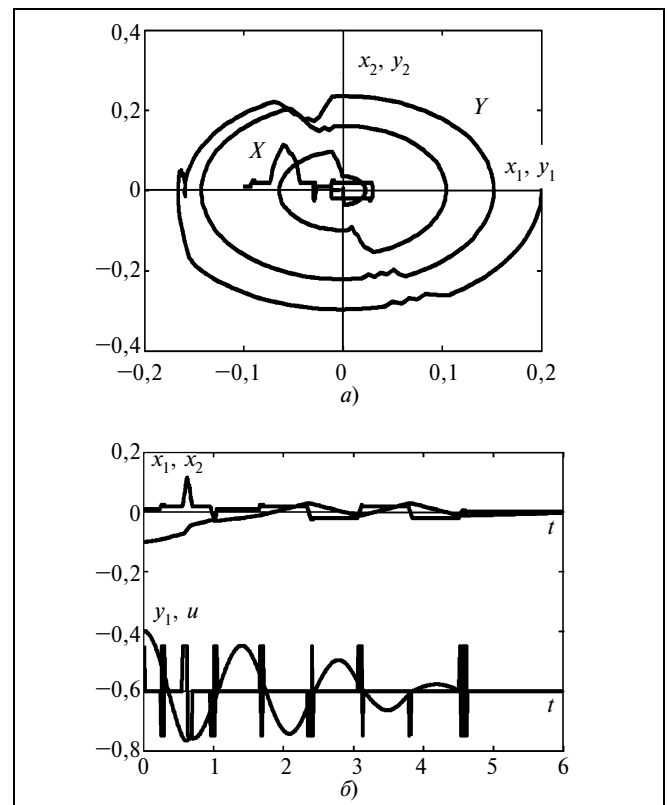


Рис. 5. Фазовые и траектории (*а*) и переходный процесс (*б*) блоков при малых начальных значениях координат блока X



но, и для эффективной работы управляющего алгоритма требуется уточнение математической модели объекта. Иногда в процессе работы по тем или иным причинам изменяются параметры описания объекта. Разработаны различные методы идентификации коэффициентов дифференциальных уравнений фазовых координат объектов [7, 8].

Для рассмотренной задачи параллельного управления блоками, описываемыми линейными дифференциальными уравнениями второго порядка (6) и (7) были промоделированы простейшие алгоритмы идентификации параметров, использующие коэффициенты чувствительности фазовых координат от параметров.

Обозначим соответствующие фазовые координаты модели как

$$\bar{x}_1, \bar{x}_2, \bar{a}, \bar{y}_1, \bar{y}_2, \bar{b}_1 \text{ и } \bar{b}_2.$$

Тогда уравнения подстройки параметров модели по интервалам коррекции можно записать в виде

$$\Delta \bar{a} = k_1(x_2 - \bar{x}_2)u(t),$$

$$\Delta \bar{b}_1 = -k_2(y_2 - \bar{y}_2)y_1,$$

$$\Delta \bar{b}_2 = k_3(y_2 - \bar{y}_2)u(t).$$

В конце интервала коррекции целесообразно у модели устанавливать координаты объекта $\bar{x}_1 = x_1$, $\bar{x}_2 = x_2$, $\bar{y}_1 = y_1$, $\bar{y}_2 = y_2$.

Коэффициенты k_1 , k_2 и k_3 выбираются с учетом длины интервала коррекции и обеспечения устойчивости процесса идентификации.

Моделирование показало устойчивую подстройку коэффициентов модели при начальном отклонении их значений на 20–30 % от значений коэффициентов объекта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные алгоритмы управления могут эффективно применяться для управления конструкциями, движение которых описывается системой дифференциальных уравнений. Единственное управление входит с разными коэффициентами в правые части этих уравнений. Такая модально-физическая модель удовлетворительно описывает угловое движение большой космической конструк-

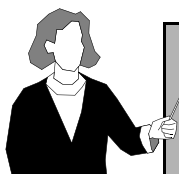
ции. Число уравнений, описывающих движение отдельных элементов или блоков общей конструкции, может быть увеличено, и алгоритмы программного управления легко прогнозируют движение всех элементов. Рассмотренные алгоритмы могут применяться также и для решения задач управления блоками, описываемыми нелинейными дифференциальными уравнениями, а также уравнениями с переменными во времени коэффициентами, что делает их эффективным средством при построении сложных интеллектуальных систем управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Математическая теория оптимальных процессов* / Л.С. Понтрягин, В.Г. Болтянский, Р.В. Гамкрелидзе и др. — М.: Наука, 1976. — 270 с.
2. *Беллман Р. Динамическое программирование*. — М.: Изд-во иностр. лит., 1960. — 195 с.
3. *Габасов Р., Кириллова Ф.М., Ружижская Е.А.* Решение классической задачи регулирования методами оптимального управления // *Автоматика и телемеханика*. — 2001. — № 6. — С. 18–29.
4. *Харченко Г.Г., Шубин А.Б.* Алгоритмы программного управления ориентацией космического модуля в режиме транспортировки нежесткого груза с прогнозированием движения // *Тр. X междунар. науч.-техн. семинара «Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации»*. — Алушта, 2001. — С. 253–254.
5. *Модально-физическая модель пространственного углового движения деформируемого космического аппарата и ее свойства* / В.М. Глумов, С.Д. Земляков, В.Ю. Рутковский, В.М. Суханов // *Автоматика и телемеханика*. — 1998. — № 12. — С. 38–50.
6. *Рутковский В.Ю., Суханов В.М.* Модель деформируемого космического аппарата и общие характеристики динамики конструкции // *Изв. РАН. Техн. кибернетика*. — 1994. — № 1. — С. 198–206.
7. *Харченко Г.Г., Шубин А.Б.* Методы идентификации параметров гибкой космической конструкции и алгоритм программного управления этой конструкцией // *Тез. докл. III междунар. симп. «Интеллектуальные системы»*. — М., 1998. — С. 266.
8. *Харченко Г.Г., Шубин А.Б.* Вычислительный метод определения частот и амплитуд гармоник сигнала по наблюдению короткой реализации // *Тр. междунар. конф. «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO-2000 / Ин-т пробл. упр-я*. — М., 2000. — С. 2126–2130.

☎ (495) 334-87-20

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



Читайте в следующем номере статью

Клепарского В.Г., Клепарской Ек.В. Оценка капитализированной стоимости изменений адекватности управления при переходе на траекторию интенсивного развития

ПЕРВАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ КРУПНОМАСШТАБНЫХ СИСТЕМ» MLSD'2007

Аналитический обзор

Конференция состоялась 1—3 октября 2007 г. в стенах Института проблем управления (ИПУ) им. В.А. Трапезникова РАН и стала крупным научным форумом ведущих отечественных и зарубежных ученых по теории и прикладным задачам управления развитием крупномасштабных систем на территории Российской Федерации. Значимость этого мероприятия определяется еще и тем, что конференция MLSD'2007 была организована после длительного перерыва в собраниях российского научного сообщества, посвященных данной тематике.

Крупномасштабные системы — это класс сложных (больших) систем, характеризующихся комплексным межотраслевым и (или) межрегиональным взаимодействием элементов, требующих для своего развития существенных затрат ресурсов и времени. В рамках методологии системного анализа такие объекты управления, как страна, регион относят к классу крупномасштабных систем. Типичные примеры крупномасштабных систем: топливно-энергетический комплекс и отдельные его отрасли, транспортные, аграрно-промышленные, территориально-промышленные, региональные и отраслевые системы, холдинги, концерны, финансово-промышленные группы, распределенные системы передачи и обработки информации и др. Крупномасштабные системы, такие как «Газпром», РАО ЕЭС, РЖД и т. п., составляют каркас национальной экономики. Изменения глобальной рыночной конъюнктуры отражаются на их деятельности, которая влияет на состояние экономики страны в целом.

Конференция возобновила в нашей стране российские и международные форумы по данной проблематике (первый семинар состоялся в 1979 г. под председательством академика В.А. Трапезникова, последняя конференция — в 1990 г. в Москве под руководством академика АН Грузии И.В. Прангишвили). За прошедшие годы в науке управления комплексными крупномасштабными системами во всем мире и в России произошли большие про-

грессивные, можно сказать, прорывные изменения. Назрела потребность общаться и обсуждать текущие дела и перспективы в этой области.

На конференции MLSD'2007 присутствовали ученые из 10 стран и 17 городов России. Она объединила ведущих специалистов из большинства стран СНГ. В ее работе приняли участие ученые из Армении, Беларуси, Грузии, Казахстана, Латвии, США, Узбекистана, Украины. Работали шесть секций по разным направлениям теории и приложений по управлению развитием крупномасштабных систем, в том числе:

- 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.

Были заслушаны 8 пленарных докладов ведущих ученых-управленцев России, посвященных общим проблемам управления крупномасштабными системами (акад. РАН *С.Н. Васильев*), методам и инструментальным средствам управления инвестиционными проектами (д-ра техн. наук *А.Д. Цвиркун* и *Л.Р. Соркин*), проблемам моделирования в актуальных задачах прогнозирования электроэнергетики (акад. РАН *А.А. Макаров*), глобальным вопросам управления состоянием и развитием почвенного покрова России (академики РАН *Г.В. Добровольский*, *А.С. Исаев*), научно-технологическим основам и проблемам создания систем мониторинга крупных водных объектов типа бассейна Волги (чл.-корр. РАН *В.И. Данилов-Данильян*) и др.



В докладе руководителей конференции акад. *С.Н. Васильева* и д-ра техн. наук *А.Д. Цвиркуна* «Проблемы управления развитием крупномасштабных систем», открывшим пленарное заседание первого дня конференции, главное внимание было уделено современному состоянию, условиям и перспективам развития крупномасштабных систем в нашей стране. Приведем некоторые положения этого доклада.

Основные особенности крупномасштабных систем:

- значительные затраты ресурсов и времени на развитие систем; заблаговременность инвестиционных мероприятий может составлять несколько лет;
- размытость границ (в процессе развития состав элементов системы и характер их взаимосвязи между собой и с внешней средой существенно изменяются; территория, охватываемая системой, может расширяться от региональных масштабов до глобальных);
- тесная взаимосвязь с другими крупномасштабными системами и с окружающей средой;
- комплексный характер управления (в частности, требуется согласование отраслевых, корпоративных и региональных интересов);
- грубость и устойчивость — небольшие отклонения в параметрах развития отдельных элементов и их взаимосвязей мало влияют на развитие систем в целом;
- другие характеристики сложных (больших) систем.

Система управления развитием крупномасштабных систем принципиально изменилась. Для работы в рыночных условиях главными характеристиками становятся прибыль, затраты, срок окупаемости, безубыточность, внутренняя норма прибыли, ликвидность, платежеспособность, рентабельность и другие показатели.

Старые инструменты управления развитием крупномасштабных систем не работают, появились новые инструменты, в том числе бизнес-планы на уровне отдельных предприятий, для создания которых, в частности, может быть успешно использован программный комплекс ТЭО-ИНВЕСТ, разработанный в ИПУ РАН.

Россия переместилась на третье место среди развивающихся рынков в качестве источника прямых внешних зарубежных инвестиций. Российская глобальная экспансия охватывает компании, действующие в нефтегазовой, металлургической, горнодобывающей и телекоммуникационной отраслях, т. е. в тех областях, где Россия имеет конкурентные преимущества и где сильно влияние глобальных процессов консолидации.

Россия ориентируется на создание крупных российских корпораций и поддержку их внешне-экономического продвижения. При этом на внутреннем рынке такие компании не будут занимать монопольного положения из-за конкуренции с другими компаниями, в том числе иностранными.

Требуется создание мобильной инновационной инфраструктуры, предполагающее наличие развитой системы инициирования, финансирования и внедрения инноваций, основанной на фундаментальных научных исследованиях.

Открытая экономика России предоставляет больше возможностей для развития, чем прежняя, закрытая. Вместе с тем она не позволяет двигаться по всем направлениям широким фронтом, а заставляет делать рациональный выбор, основанный на анализе сравнительных преимуществ.

Для наращивания мощности необходимо иметь долгосрочные планы развития промышленности — программу развития. Для создания программы необходим проектный подход — обсуждение перспектив разработки и реализации прорывных проектов. На основе программ реализации проектов может создаваться единый индикативный план, в котором согласуются балансы интересов представителей разных отраслей. Для решения подобных задач необходимо создание специальных институциональных механизмов.

Государство, региональные власти и крупные бизнесмены могли бы взять на себя разработку, постоянное обновление и взаимную увязку генеральных схем развития и размещения отдельных кластеров с учетом мирового и регионального развития.

Транспортная система — один из главных системообразующих факторов, «кровеносная» система жизнеобеспечения страны. Эффективность транспортной системы обуславливает достижение следующих целей: эффективность экономики, качество жизни населения и экологическая защищенность человека, национальная безопасность и внешнеполитические цели России.

Проблемы управления развитием транспортной системы России включают в себя разработку научной базы и эффективных моделей и методов рационального размещения и этапирования развития производительных сил с учетом и факторов геополитического характера. Проблемы управления развитием, углубившиеся или появившиеся в новых условиях, — это организация рынка транспортных услуг, регулирование тарифов, налоговое регулирование, инвестиционное регулирование.

Реформа транспортной системы направлена на разделение функций государственного управления и хозяйственной деятельности. Соответственно, требуется совершенствование управления: в «быс-

тром» времени как управления работой транспорта (производство транспортных услуг — преимущественно частными компаниями); в «медленном» времени как управления развитием в масштабе отрасли, включая управление институциональными условиями взаимодействия хозяйствующих субъектов, что преимущественно реализуется как государственное индикативно-директивное планирование и регулирование.

Изменения в сфере транспортных услуг с рыночной переориентацией на потребителя вызывают потребность в новых интеллектуальных и логистических технологиях управления функционированием транспортной системы, гибко реагирующих на быстро изменяющиеся условия среды и приоритеты потребителей.

При моделировании развития и функционирования крупномасштабных систем огромную роль играет учет взаимосвязи интеллектуальных математических и информационных технологий управления и поддержки принятия решений.

Единая национальная транспортная информационная система должна создаваться, исходя из требований логистических и интеллектуальных технологий управления материальными, информационными и финансовыми потоками, обеспечения национальной безопасности, предупреждения террористических актов на транспорте, оперативной ликвидации их последствий, повышения надежности грузоперевозок, а также ее использования в широких интересах народного хозяйства. Разработка концепции государственной программы создания единой национальной транспортной информационной системы обеспечит информационную поддержку качественно нового уровня управления функционированием перевозочных и пропускных мощностей, контроля пространственного перемещения транспортных средств на территории евроазиатского континента и в мировом океане.

Принципы и технология формирования рациональных вариантов развития электроэнергетики представлены в работе «Проблемы моделирования в актуальных задачах прогнозирования электроэнергетики» под руководством акад. РАН А.А. Макарова (Институт энергетических исследований РАН).

Современные подходы к прогнозированию развития электроэнергетики рассматривают отрасль как динамически развивающуюся производственно-хозяйственную систему, отличающуюся высоким уровнем системной целостности, большим технологическим разнообразием, сильной межотраслевой интеграцией в рамках топливно-энергетического комплекса страны.

При выполнении прогнозных работ возникает необходимость решения и взаимной увязки множества относительно частных задач, включая выбор:

- экономически эффективных вариантов технического перевооружения действующих и строительства новых электростанций и линий электропередач;
- уровня загрузки генерирующих мощностей разного типа для производства электроэнергии и тепла с учетом их конкурентоспособности на рынке;
- объемов передачи электроэнергии и мощности между энергосистемами, включая решения по вводу новых ЛЭП;
- вариантов топливоснабжения (вида топлива, источника поступления) с учетом возможностей взаимозамещения на тепловых электростанциях, ресурсов и цен топлива;
- источников финансирования инвестиций с учетом требований финансовой устойчивости отрасли и компаний и динамики конкурентных цен электроэнергии и тепла.

Согласованное решение задач обеспечивается на основе совокупности натуральных и финансовых балансов в динамике (по годам или пятилетиям). Для этого отраслевое технологическое и рыночное пространство описывается системой региональных балансов электрической энергии и мощности, тепла, топлива, а также финансовых балансов отрасли, ее отдельных секторов и компаний. В результате для выбора вариантов развития задаются требования по сбалансированности спроса и производства электроэнергии и тепла, ресурсов и расхода топлива для электростанций, потребности в капиталовложениях и располагаемых инвестиционных ресурсах. Система балансовых требований дает широкие возможности применения оптимизационных подходов при обосновании перспективных направлений развития производственной базы электроэнергетики, прежде всего — соотношения разных типов электростанций в будущей структуре генерирующих мощностей.

Однако комплексные прогнозные задачи в электроэнергетике решаются в условиях высокой неопределенности изменения экономических факторов разной природы, влияющих на итоговый экономически предпочтительный результат. Наиболее значимые из этих факторов: динамика внутреннего и экспортного спроса на электроэнергию и его распределение по территории, рост цен топлива, стоимость строительства и КПД разных типов новых электростанций. Кроме этого, исследователь сталкивается с дополнительными, не всегда формализуемыми и часто противоречивыми внеэкономическими факторами и ограничениями, такими как требования национальной и региональ-



ной энергобезопасности, приоритеты глобальной, национальной и локальной экологической политики, особенности экономического регулирования и др.

Поэтому одна из главных целей прогнозных исследований — формирование «рациональных» вариантов развития электроэнергетики. Как правило, «рациональный» вариант не является строго оптимальным, однако в условиях неопределенности влияющих факторов обладает наибольшей устойчивостью и адаптивностью к их изменению в пределах ожидаемых диапазонов. Кроме этого, в «рациональном» варианте учитывается влияние экономических факторов (цены топлива и стоимость строительства новых объектов) и внеэкономических факторов (экологические, социально-политические, регуляторные, институциональные и прочие ограничения).

Практический подход к формированию «рациональных» вариантов развития электроэнергетики в условиях неопределенности должен, таким образом, сочетать формальные оптимизационные подходы с экспертно-ориентированной системой имитации процесса принятия решений с учетом действия совокупности экономических и внеэкономических факторов.

Для решения центральной задачи прогнозирования в электроэнергетике — выбора рациональной структуры генерирующих мощностей — в ИНЭИ РАН разработана оригинальная технология исследований, применяемая в виде модельно-информационного комплекса EPOS. В ее основу положен синтез оптимизационного инструментария и экспертно-ориентированной имитационно-расчетной системы, предполагающей последовательное решение и итеративную увязку частных экономических и балансовых задач. Технология включает в себя три стадии.

На первой, предоптимизационной, стадии исследований с помощью имитационных средств определяется состав влияющих факторов, оцениваются диапазоны варьирования их значений в динамике и с учетом территориальных различий. Важная задача состоит в сокращении набора типовых решений по техническому перевооружению и новому строительству электростанций, которые целесообразно включать в оптимизационную модель. Для этого они предварительно ранжируются по эффективности с тем, чтобы для региона и режима использования мощностей выделить подмножество реально конкурирующих источников. По результатам имитационных исследований определяются приоритетные направления развития генерирующих мощностей разного типа, но не решается задача выбора оптимальных масштабов этого развития.

На следующей, оптимизационной, стадии исследуется область сбалансированных и экономически эффективных вариантов развития электроэнергетики в условиях неопределенности изменения рассматриваемого состава внешних экономических факторов. В ходе многовариантных оптимизационных расчетов исследуется устойчивость вариантов развития к различным сочетаниям влияющих факторов и на основе обобщения результатов риск-анализа определяется ядро предпочтительных инвестиционных решений, устойчивых в заданной зоне неопределенности. Также в ходе оптимизационных расчетов оцениваются и наиболее эффективные способы адаптации к варьированию внешних условий.

На завершающей, постоптимизационной, стадии с использованием имитационной расчетной модели электроэнергетики формируется «рациональный» вариант развития с учетом результатов, полученных на оптимизационной стадии, а также с учетом действия внеэкономических факторов, влияющих на состав и размещение объектов электроэнергетики.

Еще одна задача, решаемая в рамках имитационной модели, заключается в комплексном прогнозе финансово-экономического состояния отрасли и ее отдельных секторов (сети, атомная, гидро- и тепловая генерация). Основная цель прогноза — оценка финансовой реализуемости инвестиционной программы для полученного «рационального» варианта развития в условиях неопределенности факторов ценовой и финансовой политики (цены электроэнергии, объемы собственного, внешнего и государственного финансирования, стоимость капитала, налоговая среда и пр.).

Специалистами ИНЭИ РАН накоплен многолетний опыт применения комплекса имитационных и оптимизационных моделей развития электроэнергетики в рамках совместных работ с государственными органами и крупнейшими энергетическими компаниями России, включая разработку Энергетической стратегии страны, Генеральной схемы размещения объектов электроэнергетики до 2020 г., регулярных пятилетних прогнозов развития РАО «ЕЭС России». В ходе работ показана высокая эффективность технологии обоснования «рациональных» вариантов развития электроэнергетики, их согласования со сценариями развития экономики, стратегиями развития ТЭК и отдельных топливных отраслей, вариантами ценовой политики на внешних и внутренних энергетических рынках. Применение имитационных, экспертно-ориентированных процедур позволяет адаптировать варианты развития с учетом требований различных групп ЛПР в электроэнергетике (федеральные, региональные органы власти, энергокомпа-

нии, инвесторы, потребители) и, таким образом, снизить риски финансовой реализуемости инвестиционной программы, повысить уровень ее административной и политической поддержки.

В докладе чл.-корр. РАН *В.И. Данилова-Данильяна*, д-ров физ.-мат. наук *Г.М. Баренбойма* и *Е.В. Веницианова* (Институт водных проблем РАН) «Проблемы создания систем мониторинга водных объектов» рассматривались задачи, которые относятся к числу наиболее актуальных и решение которых должно обеспечить гармоничное сосуществование человека с окружающей природной средой, и, таким образом, сыграть важную роль в устойчивом развитии всего мирового сообщества. Решение этих задач становится особенно значимым в приложении к пресным водам как источникам питьевого водоснабжения, при этом масштаб этой значимости — геостратегический.

Сравнительный анализ тенденций увеличения водопотребления и загрязнения вод в ближайшее столетие согласно одной из моделей развития показывает весьма вероятную неизбежность катастроф, связанных с исчерпаемостью водных ресурсов, приводящих к водному голоду.

Для решения задач охраны и восстановления водных объектов, рационального использования водных ресурсов требуются большие объемы информации различной по географическому охвату, разнообразной по тематике и по уровню используемых научных знаний. Значительная и непрерывная часть такой информации генерируется путем инструментального наблюдения за водными объектами, за влияющими на них другими компонентами окружающей среды, а также путем последующей обработки первичных данных в соответствии с уровнем развития науки о водных объектах и применительно к моделям, использующим знания, накопленные на этом уровне. Эти функции информационного обеспечения выполняют системы мониторинга водных объектов (СМВО). Отличаясь высокой наукоемкостью, система мониторинга сама служит мощным инструментом генерации научных знаний, включая фундаментальные.

Экологический мониторинг — это комплекс выполняемых по научно-обоснованным программам наблюдений, оценок, прогнозов и разрабатываемых на их основе управленческих решений. Таким образом, СМВО является системой поддержки принятия решений (СППР), направленных на минимизацию экологических рисков для окружающей природной среды в целом и для водных объектов как одного из компонентов этой среды, а также для биоты и человека, в частности. Чрезвычайно велика роль мониторинга в формировании национальной и международной экологической политики.

Авторы отметили, что одна из целей их доклада состоит в желании привлечь к этой проблеме внимание специалистов в области управления развитием крупномасштабных систем для комплексного развития систем мониторинга водных объектов и повышения надежности прогнозов и эффективности управленческих решений.

Было отмечено, что крупномасштабность таких систем определяется несколькими факторами: географическими масштабами многих систем СМВО, разнотипностью учитываемых компонентов окружающей природной среды, влияющих на экологический статус вод, разнотипностью антропогенных факторов негативного воздействия на водные объекты, многообразием субъектов воздействия загрязненных вод и др.

Информационная масштабность системы мониторинга водных объектов растет также благодаря тому, что СМВО, являясь по сути СППР, отличается от многих подобных систем наличием собственной мощной измерительной подсистемы, в которой применяются химические, физические, физико-химические и биологические методы. Масштабность СМВО определяется не только ее очевидными характеристиками (большие пространства вплоть до мирового океана, многочисленность измеряемых величин, большое число различных технологий и т. д.), но и большим объемом разнообразного моделирования, требующего, в свою очередь, большого массива справочных данных и обширной базы знаний.

Система мониторинга как СППР должна одновременно функционировать в рамках нескольких типов аналитических задач, которые классифицируются как информационно-поисковые, оперативно-аналитические и интеллектуальные (поиск закономерностей в накопленных данных, построение прогностических моделей, создание сценариев управляющих решений с учетом экономических и социальных факторов и др.). Отмечается, что интеллектуальные задачи часто должны решаться в условиях «плохих» — непредставительных — исходных данных.

При создании многих прогностических моделей «дальнего действия» необходимо учитывать влияние глобальных климатических изменений, в частности, глобальное потепление, моделирование которых само нуждается в развитии.

Таким образом, системы, обладающие такими характеристиками, требуют для своего создания специального класса программно-инструментальных систем, реализующих концепцию управляемого хранилища данных с высокой мерностью, настраиваемого на данную предметную область, и применения мощных и специализированных информационно-аналитических технологий. Кроме



того, географическая специфичность водных объектов требует применения геоинформационной системы в качестве одной из программно-инструментальных систем с последующим развитием плоскостного и объемного моделирования на ее базе.

В целом, крупномасштабные системы мониторинга водных объектов как СППР представляют собой метасистемы с позиций одновременного приложения самых различных научно-практических дисциплин при их создании и развитии. Незаменимую роль среди этих дисциплин играют те, которые связаны с общей теорией и прикладными аспектами разработки крупномасштабных систем с функциями СППР.

В современный период развития систем мониторинга, как в отечественной, так и, частично, в мировой практике, названные выше дисциплины на уровне своих высших достижений не участвуют в формировании этой метасистемы. Поэтому привлечение специалистов названных дисциплин к созданию современных крупномасштабных систем мониторинга является необходимым условием эффективности таких систем, применение которых, в свою очередь, является обязательным условием обеспечения экологической безопасности природных вод, биоты и населения. Анализ состояния мирового рынка экологических услуг и технологий показывает, что подобные метасистемы будут востребованы на этом рынке. Они также сыграют роль эффективного научного инструмента при исследовании водных объектов.

Другая важнейшая проблема была затронута в докладе академиков РАН *Г.В. Добровольского* (Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова) и *А.С. Исаева* (Центр по проблемам экологии и продуктивности лесов РАН), акад. РАСХН *А.Н. Каштанова*, чл.-корр. РАСХН *В.А. Рожкова* и других сотрудников Почвенного института им. В.В. Докучаева «Управление развитием почвенного покрова — жизнеобеспечивающей системы России».

Докладчики напомнили, что почвенный покров земельных ресурсов России — крупномасштабная плохо организованная открытая система, уровень управления которой определяет благосостояние, безопасность и жизнеобеспечение страны, что обладая богатейшим почвенным потенциалом бескрайних просторов, страна тем не менее испытывает дефицит сельскохозяйственной продукции. И объясняется это низким уровнем управления. Необходим пересмотр подхода к почвенному покрову — национальному богатству России.

Земельные ресурсы остались без государственного контроля и законодательной защиты. Почвы и почвенный покров, составляющие эти ресурсы,

приравнены к недвижимости, продаются и покупаются как товар, из кадастровой оценки исключена статья их качественной характеристики, которая определяет урожай, здоровье населения. Земли лесного фонда составляют более половины территории страны, обеспечивая мощную, но мало оцененную в экономике страны сырьевую основу и экологический каркас территории.

Почвенный покров — открытая система, чутко реагирующая на воздействие. При плохом управлении она снижает продуктивность и может быть полностью разрушена, при разумном — может повысить продуктивность или проявит устойчивость к деградации. Интенсивное земледелие, ориентированное на постоянное повышение продуктивности, чревато нарушением устойчивости системы, и более оптимальным критерием управления является постоянство уровня продуктивности. В связи с этим перспективны принципы адаптивно-ландшафтной системы земледелия — новая парадигма землепользования.

Системный подход — единственно приемлемая концепция землепользования, вмещающая социальные, экономические и экологические принципы. Наука располагает концептуальными идеями и практическими предложениями по рациональному природопользованию, в том числе по использованию почв и почвенного покрова. Кардинальные решения по обеспечению и развитию ее сохранности должно взять на себя государство. Прежде всего, необходима нормативно-законодательная основа управления столь крупномасштабной системой, какой является почвенный покров земельных ресурсов страны. В отличие от западноевропейских стран у нас долго останется острой проблема управления плодородием почв. Все более актуальными признаются исследования биосферных и экологических функций почв и почвенного покрова земли. Наконец, требуется сменить стереотип отношения к почве и почвенному покрову как к товару — это среда нашего обитания, средство и объект труда, основа благосостояния и безопасности нас и наших потомков, т. е. устойчивого развития этноса.

Среди докладов, представленных на секции **«Проблемы управления развитием крупномасштабных систем, включая ТНК»** следует отметить доклад д-ра техн. наук *Э.А. Трахтенгерца*. «Компьютерные технологии поддержки, генерации и реализации взаимодействия целей, стратегий и оперативных воздействий».

Значительный интерес на секции **«Методы и инструментальные средства управления инвестиционными проектами и программами»** вызвал доклад *Т.А. Горошниковой*, д-ра техн. наук *А.Д. Цвиркуна*

«Комплексные системы оценки инвестиционных планов холдинговой компании».

На секции **«Имитация и оптимизация в задачах управления развитием крупномасштабных систем»** представлены доклады, посвященные различным аспектам оптимального управления крупномасштабными системами и методам оптимизации. Рассматривались анализ функционирования крупномасштабных распределенных систем обработки информации с помощью имитационных моделей; элементы графоаналитического исчисления в задачах сопровождения объектов и субъектов; исследование и оптимизация крупномасштабных систем с помощью сеточных методов равномерного зондирования; выбор оптимальных параметров системы управления, инвариантной к действию внешних возмущений; оптимальное параметрическое регулирование производства транспортировки нефти по магистральному нефтепроводу; инструментальные средства имитационного и оптимизационного моделирования в задачах прогнозирования и развития электроэнергетики; оптимальный синтез и реконструкция структуры систем управления; информационная система анализа и моделирования сложных динамических систем.

На секции **«Управление топливно-энергетическими, транспортными и другими системами»** были заслушаны доклады по проблемам управления различными отраслями хозяйства и другими крупномасштабными системами. Тематика секции была представлена широко и разнообразно: стратификация роботоавтоматных систем в цветной металлургии; актуальные задачи прогнозирования электроэнергетики; оптимальная структура площадных транспортных сетей; методы и модели надежного энергосберегающего управления распределенными насосными станциями; программный комплекс для решения динамических задач планирования производства, складирования, транспортировки и распределения нефтепродуктов; экспертные методы в задаче управления развитием пассажирского автомобильного транспорта в крупном регионе; решение проблем управления чугуновыплавляющими агрегатами с помощью экспертных систем; разработка системы автоматизации стратегического управления для газовой отрасли; агрегированные модели и аналитическая идентификация состояния крупномасштабных систем; оптимизация бизнес-процессов предприятий ТЭК по критерию устойчивого развития; специфика влияния проектной деятельности на эффективность холдинговых структур в лесной отрасли и др.

На секции **«Информационное и программное обеспечение систем управления крупномасштабными производствами»** большой интерес вызвал доклад, представленный авторами из Санкт-Петербур-

бургского института информатики и автоматизации РАН канд. техн. наук *Е.М. Зайчиком*, д-ров техн. наук *М.Ю. Охтилевым*, *Б.В. Соколовым* «Комбинированные методы и модели управления развитием мобильных информационных технологий и систем». Авторы рассмотрели методологические и методические основы комплексного моделирования процессов создания и внедрения мобильных информационных технологий и систем. Основное отличие и достоинство разработанного комплекса динамических макро- и микромоделей от ранее созданных состоит в том, что с их помощью можно не только анализировать различные сценарии реализации жизненных циклов таких систем, но и одновременно решать задачи адаптивного многокритериального выбора как облика соответствующих информационных технологий и систем, так и программ их создания и развития. Предложенная динамическая интерпретация происходящих процессов позволила непосредственно (в аналитическом виде) связать потоковые динамические модели (модели системной динамики) с динамическими моделями распределения нескладируемых (складируемых) ресурсов на сетях с перестраиваемой структурой.

Данный подход к организации и проведению комплексного моделирования позволяет формализовать и исследовать новый класс прикладных задач, а именно, задач управления структурной динамикой социотехнических объектов, возникающих в различных предметных областях (экономике, бизнесе, информатике и др.). Применение предлагаемых динамических моделей позволяет: использовать в ходе моделирования мобильных информационных систем фундаментальные научные результаты, полученные в теории управления сложными динамическими системами с перестраиваемой структурой; существенно сократить размерность задач управления структурной динамикой, решаемых в каждый момент времени; достаточно конструктивно осуществлять согласование и взаимную интерпретацию результатов, полученных на аналитических и имитационных моделях как на концептуальном, так и на алгоритмическом, информационном и программном уровнях описания; обоснованно подходить к выбору временных интервалов работы элементов и подсистем, входящих в состав информационной вычислительной системы; существенно сократить затраты оперативной памяти, повысить оперативность решения задач управления с помощью перспективных гибридных вычислительных систем, допускающих декомпозицию и распараллеливание вычислительного процесса, поиск программ управления мобильными информационными технологиями и системами в оверлейных режимах.



Большой интерес вызвал доклад *Б.Е. Демина* (ФГУП НИИ «Восход», Москва) «Развитие ГАС «Выборы» как социальной информационно-коммуникационной системы России», посвященный проблеме крупномасштабных информационно-коммуникационных систем. Типовым представителем таких систем, которые стали не только неотъемлемой частью повседневной деятельности, но и способом достижения стратегических преимуществ в политике, бизнесе, производстве, в других областях, может служить Государственная автоматизированная система Российской Федерации «Выборы». Оценка работы этой крупномасштабной системы показывает, что центральной из всего многообразия проблем, связанных с развитием крупномасштабных систем, выступает проблема управления проектами на протяжении всего их жизненного цикла, от качественного решения которой в значительной мере зависит социальная значимость проекта, а также эффективность и надежность функционирования системы.

Социальная значимость проекта ГАС «Выборы» определяется тем, что она служит неотъемлемым элементом демократического избирательного процесса и важным инструментом стабилизации политических и социальных процессов в российском обществе.

На примере эксплуатации ГАС «Выборы» социологи рассматривают актуальные проблемы социальной информатики, в частности, проблемы применения методов информатики в социологических и политологических исследованиях. После проведения выборов или других типов голосований социологи могут получить значительный объем данных, социологический анализ которых может дать много интересных результатов.

Социальный эффект создания автоматизированных информационных систем необходимо учитывать. Для оценки социальных последствий создания автоматизированных систем показатели пока не определены, но несомненна важность таких критериев: социально-политическая значимость, компьютеризация страны, развитие инфраструктуры, возможность интеграции с другими федеральными и региональными автоматизированными системами для создания единого информационного пространства Российской Федерации.

Социальную направленность ГАС «Выборы» можно проиллюстрировать на примере подсистемы «Регистр избирателей, участников референдума», подсистемы «Интернет-портал ЦИК России», информационно-справочной подсистемы, подсистемы связи и передачи данных, подсистемы отображения информации коллективного пользования.

Государственная автоматизированная система «Выборы» открывает ряд новых по классу систем, которые можно назвать социально-ориентированными автоматизированными системами.

На секции **«Мониторинг в задачах управления крупномасштабными системами»** интерес вызвал доклад д-ра техн. наук *А.И. Буравлева* (Институт экономики и предпринимательства) и д-ра воен. наук *Г.И. Горчицы* (РАА «Спецтехника», Москва) «Мониторинг и анализ эффективности стратегий развития интегрированных промышленных структур». Доклад посвящен важнейшей проблеме — развитию промышленного сектора экономики России. Характерная черта современного этапа развития промышленного сектора экономики России состоит в интеграции научно-технических, производственно-технологических, финансовых, информационных и трудовых ресурсов в рамках крупных корпоративных объединений. На примере крупных корпоративных объединений в докладе представлена задача интеграции перечисленных ресурсов. Отмечено, что основу корпоративной политики составляют организационные, предпринимательские и трудовые стратегии деятельности корпорации. Успешное развитие корпораций во многом зависит от правильно сформулированной корпоративной политики и эффективно работающих механизмов ее реализации. Необходимость разработки эффективных стратегий деятельности корпораций представляет собой весьма актуальную научную и прикладную проблему. На практике она решается экспертными методами. Однако более эффективны математическое и компьютерное моделирование процессов финансово-хозяйственной деятельности корпораций с организацией непрерывного мониторинга и статистический анализ результатов стратегического управления корпорацией. Для решения этих задач, включая разработку рекомендаций для руководства корпорации и предприятий, в структуре корпорации необходимо иметь подсистему стратегического управления, оснащенную компьютерной информационной системой поддержки управленческих решений.

Такая система разработана специалистами ИПУ РАН и Российской академии ракетных и артиллерийских наук. Система под названием «СИГМА-ФИН» позволяет решать задачи формирования компьютерной базы по данным бухгалтерской отчетности предприятий, диагностику их финансового состояния, моделирование финансово-хозяйственной деятельности и прогнозирование ее результатов. Апробация такой системы в рамках исследований по анализу финансово-экономического состояния предприятий, включаемых в Единую судостроительную корпорацию, показала ее высокую эффективность.

В рамках конференции был проведен «круглый стол», на котором состоялись широкие дискуссии по наиболее актуальным проблемам теории управления развитием крупномасштабных систем и ее приложений. Заседания «круглого стола» провел д-р техн. наук *А.Д. Цвиркун*.

Работа конференции MLSD'2007 вызвала большой интерес и живое участие многих специалистов в области управления крупномасштабными проектами и предприятиями различных отраслей экономики, науки и техники. Руководителями и участниками принято решение о ежегодном проведении конференций в связи с быстрыми темпами развития вычислительной техники и информационных технологий, расширением круга задач управления крупномасштабными системами и в связи с большим интересом к проблемам, затронутым в докладах и сообщениях, заслушанных на пленарных заседаниях, тематических секциях и в дискуссиях круглого стола.

В решении конференции отмечена необходимость разработки оптимальной политики развития взаимосвязанных кластеров управления крупномасштабными системами, отраслей промышленности, финансовых систем и крупномасштабных систем по оказанию услуг, схем взаимосвязи и взаимодействия кластеров, а также разработка оптимальной политики развития новых инновационных кластеров управления развитием крупномасштабных систем.

Отмечено также, что Институт проблем управления РАН мог бы стать головной организацией по разработке концепций развития кластеров крупномасштабных систем, включая инновационные проекты, в глобальном (российские и транснациональные корпорации), отраслевом и региональном аспектах.

Участники конференции отметили непрерывный рост требований к уровню автоматизации, качеству и безопасности управления развитием крупномасштабных топливно-энергетических, транспортных, экологических, производственных и других систем. Обозначенные проблемы носят научно-технический и практический характер и соответствуют уровню национальных государственных проблем, для успешного решения которых необходима целенаправленная организаторская деятельность.

В связи с этим конференция предлагает:

- признать высокоприоритетными наукоемкие направления в области совершенствования процессов управления развитием крупномасштабных систем и рекомендовать развитие и широкое внедрение научно-методического обеспечения для эффективного применения в отечественной практи-

ке имеющихся разработок в области системной и программной инженерии управления развитием крупномасштабных систем, создание методов и инструментально-технологических средств мониторинга, анализа, оценки и повышения качества управления и снижения рисков в контурах управления развитием крупномасштабных систем, создание и ведение фонда алгоритмов и программ для управления развитием крупномасштабных систем;

- признать важными и актуальными вопросы изучения и широкого обмена опытом и знаниями в области системной и программной инженерии управления развитием крупномасштабных систем;
- с этой целью просить Институт проблем управления РАН им. В.А. Трапезникова организовать ежегодное проведение международной конференции по управлению развитием крупномасштабных систем с приглашением ведущих отечественных и зарубежных специалистов с обязательным обсуждением результативности внедренческой деятельности;

- рекомендовать Институту проблем управления РАН им. В.А. Трапезникова провести работу по созданию «Ассоциации управления развитием крупномасштабных систем» — организации профессионального взаимодействия российских специалистов и институтов на уровне, отвечающем современным международным требованиям стратегического планирования и управления.

По результатам работы конференции изданы сборники тезисов докладов и трудов конференции, в которых читатели могут найти более подробную информацию о представленных докладах [1, 2].

Конференция MLSD'2007 проведена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 07-07-06042-г).

ЛИТЕРАТУРА

1. *Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2007*. Тез. докл. Первой междунар. конф. (1–3 октября 2007 г., Москва) / Под ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. — М., 2007. — 232 с.
2. *Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2007*. Тр. Первой междунар. конф. (1–3 октября 2007 г., Москва) / Под ред. С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. — М., 2007. — 360 с.

☎ (495) 334-78-29, e-mail: tsvikrun@ipu.ru

Зам. председателя Программного комитета конференции, председатель Оргкомитета, д-р техн. наук, профессор А.Д. Цвиркун □



ШЕСТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ДИСКРЕТНЫХ СИСТЕМ» CAD DD'07

Минск, 14–15 ноября 2007 г.

Организаторы конференции: Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Белорусский государственный университет, Институт проблем проектирования в микроэлектронике РАН, Томский государственный университет, Зеленоградский университет (Польша). Заседания проходили в Объединенном институте проблем информатики.

Научная программа конференции охватывала следующие тематические направления: лингвистическое обеспечение; архитектурное проектирование; алгоритмическое проектирование; функционально-логическое проектирование; анализ и верификация; техническое диагностирование; моделирование; системы автоматизированного проектирования; реализация систем на программируемых, заказных и полужаказных СБИС; проектирование систем на кристалле; новые маршруты проектирования; библиотеки проектных решений, IP-блоки.

Председатель программного комитета чл.-корр. НАН Беларуси *А.Д. Закревский*, председатель оргкомитета д-р техн. наук *П.Н. Бибило* и ответственный секретарь конференции *О.В. Клачко* обеспечили качественное рецензирование и отбор докладов, а также публикацию докладов в двух томах материалов конференции.

Финансовую поддержку в публикации материалов конференции оказали Объединенный институт проблем информатики НАН Беларуси, Национальная академия наук Беларуси, Белорусский республиканский фонд фундаментальных исследований.

В конференции участвовали 114 ученых из 13 стран (Армении, Беларуси, Германии, Израиля, Китая, России, Словакии, США, Украины, Швейцарии, Японии), в том числе 3 член-корреспондента национальных академий наук, 27 докторов и 34 кандидата наук. Было заслушано 4 пленарных и 67 секционных докладов. В рамках конференции была организована выставка-демонстрация программных средств.

Открывая конференцию, генеральный директор ОИПИ НАН Беларуси чл.-корр. НАН Белару-

си *С.В. Абламейко* отметил актуальность затронутых в представленных докладах проблем, широкий спектр обсуждаемых задач, активное участие в конференции известных ученых и пожелал успешной работы.

В пленарных докладах — *В.И. Хаханов* (соавторы *С. Гайдук*, *И.В. Хаханова*) «Технологии тестирования и верификации программно-аппаратных проектов»; *В.В. Кунцевиг* «Обзор средств САПР сквозного проектирования современных сложно-функциональных интегральных схем»; *А.А. Иванов* «Контролепригодное проектирование оперативных запоминающих устройств»; *В. Stainbach* «UML based design automation» — были сделаны обзоры и дан всесторонний анализ современного состояния теории и практики решения задач, относящихся к заявленным темам докладов.

На секциях «Логическое проектирование, моделирование, тестирование и диагностика» и «Высокоуровневое проектирование, схемотехническое, топологическое и физическое проектирование» были заслушаны доклады ученых из СНГ *А.Д. Закревского*, *П.Н. Бибило*, *Л.А. Золоторевич*, *В.А. Ведешенкова*, *А.В. Лобанова*, *Ю.А. Скобцова*, *Д.В. Сперанского*, *В.А. Твердохлебова*, *В.В. Топоркова* и др., а также доклады зарубежных ученых — *А. Barkalov* (Польша), *В. Stainbach*, *Ch. Posthoff* (оба — Германия), *A.F. Bukowiec*, *A.G. Karatkevich* (оба — Польша), *E. Lange* (Латвия) и др.

Ряд докладов был посвящен задачам высокоуровневого проектирования и вопросам применения языков UML, VHDL, ПРАЛУ для описания функционирования дискретных устройств, моделей сетей Петри, автоматов и параллельных программ. В рамках схемотехнического, топологического и физического проектирования рассматривались проблемы размещения элементов и ячеек регулярных структур с последовательным соединением транзисторов, вопросы проектирования заказных СБИС и др. Логическое проектирование было представлено докладами по распознаванию монотонных булевых функций, по оптимизационным задачам в булевом пространстве, по новым подходам в задачах минимизации и декомпозиции

систем булевых функций. Вопросы технического диагностирования рассматривались в докладах, посвященных специфике технического диагностирования сложных систем, сокращению диагностической информации при тестировании методами тестирования, моделирования динамических систем, цифровых схем, нейронных сетей и др.

Доклады были разнообразны и в основном интересные, часто вызвали живой интерес и дискуссии, в ходе которых нередко каждый из участ-

ников оставался при своем мнении. На итоговом обсуждении результатов работы конференции участники дали ей положительную оценку.

Подробнее с программой конференции можно ознакомиться на сайте <http://uiip.bas-net.by/%7Elogic/cad2007.html>.

Д-р техн. наук, профессор В.А. Твердохлебов

e-mail: TverdokhlebovVA@list.ru



НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «СОВРЕМЕННЫЕ СЛОЖНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ»

Конференция организована совместно на ротационной основе Институтом проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, Воронежским государственным архитектурно-строительным университетом, Липецким государственным техническим университетом, Тверским государственным техническим университетом и Старооскольским технологическим институтом.

Место и время проведения — г. Тверь, Тверской государственный технический университет, 6—7 мая 2008 г.

Основные тематические направления конференции

- теория управления; методы, модели и механизмы управления;
- наблюдаемость, управляемость и идентификация систем управления;
- оценивание процессов управления; оптимальное и адаптивное управление;
- управление производственными, финансовыми и социальными структурами;
- управление проектами и производством; управление запасами, затратами, финансами, потоками ресурсов и персоналом;
- моделирование и проектирование организационно-технологических процессов, производств и систем управления;
- управление непрерывными и дискретными технологическими процессами в различных производствах;
- управление качеством продукции;
- искусственный интеллект.

На конференции будет предоставлена возможность демонстрации систем, программного обеспечения и технических средств по предварительной договоренности.

*Сообщения и материалы следует направлять по адресам:
bua-tstu@yandex.ru, kja227@tvcom.ru, marishka_56@mail.ru,
170024, г. Тверь, ул. М. Конева, д. 12, к. 506б, ТГТУ,
кафедра "Бухгалтерский учет, анализ и аудит",
проф. В.Н. Кузнецову.*



V ВСЕРОССИЙСКАЯ ШКОЛА-СЕМИНАР МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «УПРАВЛЕНИЕ БОЛЬШИМИ СИСТЕМАМИ»

Школа-семинар организована Институтом проблем управления РАН, сетью Научно-образовательных центров проблем управления и Липецким государственным техническим университетом совместно с рядом ведущих научно-исследовательских институтов и вузов России в целях развития и пропаганды достижений теории и практики управления большими системами. Проведение V Всероссийской школы-семинара молодых ученых приурочено к 20-летию факультета автоматизации и информатики ЛГТУ.

Приглашаются к участию молодые ученые (студенты и аспиранты, кандидаты наук в возрасте до 35 лет, доктора наук — до 40 лет). Наряду с выступлениями молодых ученых планируется цикл лекций ведущих специалистов по теории управления.

Основные направления работы школы-семинара:

- фундаментальные основы теории управления;
- управление организационными и социально-экономическими системами;
- управление технологическими процессами и промышленными установками;
- информационные технологии и фундаментальные основы проектирования информационных систем;
- управление качеством;
- электротехнические комплексы и системы;
- информационно-измерительные и управляющие системы.

Место и время проведения — 21—24 октября 2008 г., г. Липецк, база отдыха «Зеленая долина».

Заявки и доклады следует направлять по адресу conf-ee@stu.lipetsk.ru организационного комитета в электронном виде не позднее 31 мая 2008 г. Приглашение и программа конференции будут отправлены участникам конференции по электронной почте до 1 октября 2008 г. Получение заявки и доклада оргкомитетом будет подтверждено письмом по электронной почте.

IV ШКОЛА-СЕМИНАР МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ «ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ»

Школа-семинар организована Институтом проблем управления РАН, Казанским государственным техническим университетом им. А.Н. Туполева, а также сетью Научно-образовательных центров проблем управления совместно с рядом ведущих научно-исследовательских институтов и вузов России для развития и пропаганды достижений теории и практики управления, внедрения информационных технологий и в целях повышения квалификации молодых ученых и специалистов.

Приглашаются к участию молодые ученые (студенты и аспиранты, кандидаты наук в возрасте до 35 лет, доктора наук — в возрасте до 40 лет). Наряду с выступлениями молодых ученых планируется цикл лекций ведущих специалистов по теории управления и информационным технологиям.

Основные направления работы школы-семинара:

- моделирование и управление в технических и экономических системах;
- управление в организационных и социальных системах;
- интеллектуальное управление;
- информационные технологии и управление.
- информационно-измерительные и управляющие системы.

Место и время проведения — 23—28 июня 2008 г., г. Казань, КГТУ им. А.Н. Туполева.

Предварительные заявки на участие в работе Школы-семинара должны быть отправлены в электронной форме не позднее 5 марта 2008 г.

Заявки и доклады следует направлять по адресу conf-put@kstu-kai.ru организационного комитета в электронном виде не позднее 20 апреля 2008 г. Приглашение и программа Школы-семинара будут отправлены участникам конференции по электронной почте до 20 мая 2008 г. Получение заявки и доклада оргкомитетом будет подтверждено письмом по электронной почте.

CONTENTS & ABSTRACTS

MANAGEMENT AND LOGICAL-AND-PROBABILISTIC RISK MODELS WITH GROUPS OF INCOMPATIBLE EVENT 2

Mahutov N.A., Solozhentsev E.D.

The connection of statistical data, management, efficiency, and risk on the basis of the logical-and-probabilistic (LP) risk theory with groups of incompatible events (GIE) is considered. Systematization and generalizations subject to risk LP-models with GIE for various applications are implemented. Applications areas, advantages, differences, model types, and featured properties of the risk LP-theory with GIE are described.

INVESTIGATION OF THE SOLUTIONS OPTIMAL WITH RESPECT TO THE DEGREE OF STABILITY AT PROPORTIONAL-PLUS-INTEGRAL CONTROL 12

Shubladze A.M., Popad'ko V.E., Kuznetsov S.I., Yakusheva A.A.

The solutions optimal with respect to the degree of stability are examined for PI control of dynamic systems governed by transfer functions with a zero power polynomial in the numerator. The paper shows that there exist 7 cases of maximum degree of stability attainment in control systems. Sufficient optimality conditions are formulated for each case. The hodographs of closed-loop control systems meeting either only necessary or only sufficient optimality conditions are built. The shape of optimal systems' hodographs demonstrate the geometric sense of the solutions obtained.

APPLICATION OF POPULATION ACCOUNTING TECHNOLOGIES FOR RELIABLE PREDICTION AND EFFICIENT MANAGEMENT OF DEMOGRAPHIC AND SOCIOECONOMIC PROCESSES 21

Strakhov A.F., Strakhov O.A.

Based on the summarized experience of theoretical and practical research, the paper discusses the concepts of developing integrated personal data of population at specific territories and explains the ways to improve demographic forecasts accuracy based on metrological applications and the theory of multi-parameter measuring system synthesis.

STOCK MARKET PRICE GAPS: CLASSIFICATION AND PROPERTIES 30

Spiro A.G.

The phenomenon of stock price gap at the beginning of a stock exchange auction is examined. The paper classifies the gaps, discusses their properties and offers a mathematical description. A case study of Gasprom stock price gap analysis at Russian Trading System stock exchange is included.

METHODOLOGICAL ASPECTS OF PRACTICAL REGRESSION ESTIMATION. 34

Kornoushenko E.K.

An approach is proposed for the case of heterogeneous samples where the original observations (objects) sample breaks up into classes with significantly different values of the dependent variable (but not the regressors) which are sufficiently representative for building an independent regression model in each class. A case study shows how the approach proposed enables estimation quality improvement against the conventional regression method.

ON A DESCRIPTIVE OPTIMIZATION MODEL OF MEDIUM-TERM PLANNING 42

Losev A.G., Radchik M.V.

A mathematical model of medium-term planning for an industrial enterprise using different costs estimation techniques is offered for profit maximization. A profit function linear w. r. t. yields is established that allows to apply LP techniques for optimization.

AN UNTRADITIONAL VIEW ON OPERATIONAL DIAGNOSTICS OF COMPUTING DEVICES. 48

Drozd A.V.

The paper shows that operational diagnostics of computing devices has been developed under a precise data model which determined the target, key requirements to the techniques, and their effectiveness estimate only for a case of precise data processing. The features of approximate calculus are examined that show the need in revising the key issues of operational diagnostics. The analysis revealed the low reliability of traditional techniques under increasing significance of approximate data processing.

GENETIC ALGORITHMS WITH SOLUTION EXAMPLES 57

Podlazova A.V.

The solution of discrete optimization problems by means of genetic algorithms is considered. The developed data structures and genetic operators are described. Generic features, merits, and drawbacks of genetic algorithms are discussed.

MOBILE HEATING SOURCE SIMULATION AND CONTROL SYSTEM USING MATLAB SOFTWARE TOOLS. 64

Kubyskhin V.A., Sukhoverov V.S.

The structure and composition of a computerized system for mobile heating source's motion and capacity are discussed. Object models and motion control design technique are presented. The system's key blocks and a variant of its implementation as a software complex in MATLAB environment are described.

THE SYNTHESIS OF A PREDICTING ALGORITHM FOR THE PROGRAMMED REORIENTATION OF A LARGE SPACE STRUCTURE WITH VARIABLE PARAMETERS. 70

Shubin A.B., Alexandrov E.G., Harchenkov G.G.

An algorithm for the programmed control of elastic structure's orientation is offered that provides the prediction of the finite state and its sequential correction. The paper shows that discrete control ensures object's fast turn at the specified angle and further holds it in the specified position with simultaneous rejection of structure's elastic vibrations owing to control impacts developed for holding the object's aspect angle in admissible deviation region. An example of the algorithm realization is adduced.

THE 1st INTERNATIONAL CONFERENCE «MANAGEMENT OF LARGE-SCALE SYSTEM DEVELOPMENT» (MLSD'2007). 76

XIV INTERNATIONAL CONFERENCE «THE PROBLEMS OF COMPOUND SYSTEMS SAFETY MANAGEMENT». 85