

Научно-технический журнал

6 номеров в год

УЧРЕДИТЕЛЬ

Институт проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН

Главный редактор

И.В. Прангишвили

Заместители главного редактора

А.Н. Шубин, Ф.Ф. Пашенко

Ответственный секретарь

Л.П. Боровских

Выпускающий редактор

Л.В. Петракова

Региональные редсоветы (руководители)

Владивосток — О.В. Абрамов
(4232) 31-02-02

Воронеж — С.А. Баркалов
(0732) 76-40-07

Липецк — Л.А. Кузнецов
(0742) 32-80-44

Минск — А.В. Тузиков
(37517) 284-21-40

Издатель ООО «СенСиДат»

Ген. директор Н.Н. Кузнецова

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

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

Оригинал-макет
и электронная версия
подготовлены
ООО «ЭЛЕКТРОНИНФОРМ»

Отпечатано с готовых диапозитивов
в типографии ГКС

Подписано в печать
11.02.2005 г.

Заказ № РВ205

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.

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

© СенСиДат, 2005 г.

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

2.2005

СОДЕРЖАНИЕ

Общие вопросы теории управления

- Шаповалов В. И.** О фундаментальных закономерностях управления тенденциями 2
- Затуливетер Ю. С.** Проблемы глобализации парадигмы управления в математически однородном поле компьютерной информации. Ч. II. К единому функциональному пространству. 12

Анализ и синтез систем управления

- Ромашев А. А., Арефьев Ю. И.** Идентификация порядка нестационарных объектов методом тестовых сигналов 24
- Паршева Е. А.** Адаптивное децентрализованное управление по выходу многосвязными объектами с запаздыванием с неминимальной реализацией эталонной модели 30

Системный анализ и обработка данных

- Блюмин С. Л., Шмырин А. М., Шмырина О. А.** Представление нелинейных нечетко-окрестностных систем. 37
- Левин В. И.** Интервальная логика и сверхнечеткие множества 40
- Федоров Ю. В.** Согласование интересов предприятий финансово-промышленных групп в задаче распределения ресурсов 44
- Баркалов П. С., Колпачев В. Н.** Оптимизация календарного графика работ для различных транспортных схем 50

Управление в социально-экономических системах

- Карибский А. В., Мишутин Д. Ю., Шишорин Ю. Р.** Финансово-экономические методы контроллинга в управлении хозяйственной деятельностью интегрированных компаний. Ч. I 54
- Алескерев Ф. Т., Шит Б. М.** Производство, легальное и нелегальное потребление электроэнергии (динамический анализ) 63
- Жуковская Л. В.** Риск в некоторых банковских операциях. 69
- Бараненко С.П.** Утрата устойчивости предприятия: ее причины и методы противодействия 72

Хроника

- 16-й Симпозиум ИФАК** по автоматическому управлению в пространстве . . . 75

* * *

- Contents and abstracts 80

О ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ ЗАКОНОМЕРНОСТЯХ УПРАВЛЕНИЯ ТЕНДЕНЦИЯМИ

В. И. Шаповалов

Московский экономико-финансовый институт

В качестве фундаментальных причин системных тенденций предложены критерии изменения энтропии в открытых системах. Показано, что существенную роль в формировании глобальных тенденций играют энтропийные колебания, возникающие вблизи стационарного состояния системы. Показано, что нелинейность уравнения, описывающего рыночную деятельность частного предприятия, отражает системное преимущество последнего в экономической конкуренции с государственным предприятием.

ВВЕДЕНИЕ

С латинского слово *tendentia* переводится как направленность. В современном естествознании законы, отвечающие за направление процессов, имеют одну общую черту: их математические выражения представляют собой неравенства либо содержат знак экстремума (max или min). Эти законы определяют набор условий, выполнение которых задает тенденцию количественного изменения величин (уменьшение или увеличение). К данной группе законов относятся условия равновесия, критерии устойчивости, критерии эволюции, теорема о минимальном производстве энтропии, закон возрастания энтропии и др.

В системах тенденции наблюдаются как согласованное поведение большого числа частиц. Благодаря явлению необратимости эта согласованность проявляется на макроскопическом уровне и сопровождается феноменологическими эффектами. В результате микроскопический подход уже не может считаться эффективным для изучения тенденций, поскольку многие особенности системного поведения с его помощью не могут быть выявлены. В настоящей работе макроскопический уровень представлен энтропийными закономерностями и методами нелинейной динамики.

Понятие энтропии употреблялось в классическом смысле, введенном в статистическую физику Л. Больцманом. Напомним, что согласно этому

смыслу энтропия есть количественная мера беспорядка в системе. Математически энтропия пропорциональна среднему логарифму плотности вероятности — функции распределения по микросостояниям. Как известно, именно операция усреднения и делает энтропию макроскопической величиной. Это связано с тем, что при вычислении среднего не требуется учитывать информацию обо всех микроскопических явлениях, происходящих в системе.

Энтропия не случайно была выбрана в качестве одной из основных величин, характеризующих тенденции. Дело в том, что благодаря жесткой связи между энтропией и вероятностью действие энтропийных закономерностей на практике проявляется в увеличении вероятности событий, способствующих реализации данных закономерностей. Другими словами, эти события начинают чаще происходить. Последнее указывает на важнейшую роль энтропийных закономерностей в формировании самих тенденций.

Зависимость энтропии от функции распределения по микросостояниям позволяет увидеть связь между энтропийным подходом и методами нелинейной динамики. Микросостояние можно определить как мгновенное состояние системы — вариант взаимодействия всех элементов системы в некоторый момент времени. В фазовом пространстве микросостояние соответствует точке [1, 2]. Совокупность микросостояний, которыми может быть реализовано данное макросостояние (в даль-



нейшем — состоянии), образует конечную область фазового пространства. По известной формуле Больцмана энтропия пропорциональна логарифму числа микросостояний в этой области, т. е. логарифму числа способов, которыми данное состояние может быть реализовано во внешнем мире.

В нелинейной динамике необратимость процессов проявляется в виде сжатия (сокращения) с течением времени первоначальной области фазового пространства, занимаемого системой, до некоторого объема. Этот объем соответствует участку фазового пространства — аттрактору, в котором состояние системы стационарно. Сжатие фазового пространства означает уменьшение числа микросостояний, и, следовательно, сопровождается уменьшением энтропии. Согласно Больцману, уменьшение энтропии соответствует упорядочению в системе. Последнее же является обязательным условием самоорганизации — спонтанного образования новых структур¹. В результате приходим к выводу о том, что энтропийный подход и исследование фазовых траекторий системы методами нелинейной динамики представляют собой два способа изучения одного и того же явления — самоорганизации систем.

Эти два способа взаимно дополняют друг друга. Каждый из них по отдельности не может претендовать на то, чтобы предложить полную картину явления самоорганизации. Это очень важно понимать, поскольку и сейчас встречаются высказывания, согласно которым в рамках одной лишь нелинейной динамики можно получить полное представление о самоорганизации. В то же время, как показано в работах [4—6], без энтропийного подхода невозможно, в частности, объяснить центральную идею самоорганизации — возникновение нового качества.

Большая заслуга в развитии энтропийного подхода принадлежит одному из основоположников современной теории самоорганизации бельгийскому ученому И. Пригожину. Он первым обратил внимание на тот факт, что возникновение новых структур возможно только в диссипативных системах. В физических системах благодаря явлению диссипации (т. е. рассеянию энергии — переходу энергии движения в тепловую) процессы становятся необратимыми. В нефизических системах, в которых нельзя ввести понятие энергии, например, в социальных, необратимость является основным признаком диссипативности систем. При этом диссипативность, несмотря на этимологию самого термина, понимается в более широком смысле,

¹ Данное определение самоорганизации наиболее распространенное (см., например, работу [3]).

чем в физике, а именно, как свойство, отвечающее за необратимость происходящих в системе процессов (с этой точки зрения, рассеяние энергии — лишь частное проявление данного свойства в физических системах). Почему так много внимания уделяется необратимости? Потому что энтропия может изменяться только в необратимых процессах. Обратимость же характерна для консервативных систем. В таких системах энтропия всегда постоянна и самоорганизация в них невозможна.

Другим ученым, заложившим основы современных представлений о самоорганизации, является профессор Штутгартского университета (ФРГ) Г. Хакен. Еще в начале 1970-х гг. им было замечено, какую важную роль в самоорганизующихся системах играют самосогласованные, коллективные движения частиц. Тогда же им был введен в современный научный язык термин *синергетика*, которым теперь обозначается область науки, включающая в себя изучение любых кооперативных явлений природы.

В концептуальной основе синергетики лежит так называемая “идея нововведения”. Согласно И. Пригожину, эту идею можно сформулировать следующим образом. При объединении частиц в систему у последней появляются новые (системные) свойства, которые отсутствуют у каждой из частиц, взятой в отдельности [7, 8]. При этом также имеется в виду, что если мы знаем свойства каждой частицы, то исходя только из этого знания, нам не удастся предсказать всех свойств системы, образованной этими частицами.

На первый взгляд, данная идея может показаться достаточно очевидной. Действительно, любому старшекласснику хорошо известно, что все окружающие нас предметы состоят из одних и тех же элементарных частиц: электронов, протонов и нейтронов. На уровне элементарных частиц нет никакой разницы между людьми, животными, растениями и любыми неживыми объектами как искусственного, так и естественного происхождения. Причина же наблюдаемого вокруг великого разнообразия систем заключается в том, что одни и те же элементарные частицы в разных системах по-разному организованы. Следовательно, чтобы создать новый объект, не нужно искать какие-то новые частицы. Достаточно взять те же частицы, что составляют уже существующие объекты, и по-новому их соединить, т. е. по-новому заставить их взаимодействовать между собой. При этом в системе возникнет новая структура, порождающее новое свойство. В результате внешний мир, который различает объекты по их свойствам, увидит появление новой системы.

Итак, суть проблемы самоорганизации заключается в том, чтобы объяснить, почему при объединении частиц в систему у последней возникают свойства, *новые* по отношению к свойствам составляющих ее частиц. Как это происходит? Почему, наблюдая за поведением каждой частицы системы и зная все свойства этих частиц, мы не можем предвидеть их коллективное поведение, т. е. поведение самой системы? Как получается, что система обладает определенной самостоятельностью по отношению к элементам, ее образующим? Собственно, синергетика и выделилась в отдельную область естествознания специально для того, чтобы найти ответы на указанные вопросы.

Характерная черта современных теоретических исследований в области синергетики — упор на изучение нелинейного поведения системы (напомним, что под нелинейным поведением понимается неоднозначная реакция системы на внешнее воздействие) [3, 9–14]. Энтропийные же закономерности не входят в число приоритетных областей этой науки. В настоящее время им посвящено весьма небольшое число публикаций (среди них отметим работы [15, 16]). Однако, как будет показано ниже, энтропийные закономерности позволяют осознать ряд важнейших тенденций в природе и обществе, которые иными методами не идентифицируются. Эти же закономерности подсказывают и способ управления указанными тенденциями. Остановимся на этом подробнее.

1. КРИТЕРИИ ИЗМЕНЕНИЯ ЭНТРОПИИ В ОТКРЫТОЙ СИСТЕМЕ

В данном параграфе рассмотрены критерии, определяющие знак изменения энтропии в открытой системе; полученные результаты относятся к квазистатическим процессам.

В открытой системе взаимодействие с внешней средой налагает определенные условия на распределение величин, характеризующих систему. В этом случае энтропия должна быть выражена через условную функцию распределения. Известно неравенство [1]:

$$S(X) \geq S(X|Y), \quad (1)$$

где X и Y — переменные, определяющие состояние системы; $S(X|Y)$ — условная энтропия, характеризующая неопределенность задания переменной X при условии, что задана переменная Y . В работе [15] приведена следующая трактовка данного неравенства: “Задание дополнительных условий может либо уменьшить неопределенность статистического описания, либо оставить ее неизменной”.

Если рассматривать $S(X)$ как энтропию равновесного состояния замкнутой (изолированной) системы, то размыкание соответствует заданию дополнительных условий. Тогда $S(X|Y)$ — энтропия стационарного состояния после замыкания, в результате которого в системе возникли изменения, описываемые дополнительной переменной Y . Согласно неравенству (1), энтропия системы после размыкания не может быть больше энтропии замкнутой системы.

Однако неравенство (1) не позволяет сравнивать между собой энтропии стационарных состояний открытой системы, а его применение к известной задаче о тепловом контакте двух тел, образующих изолированную систему, приводит к противоречию, поскольку из него следует, что энтропия каждого из двух тел после контакта не может возрасти.

В работах [4–6, 17] было показано, что эти ограничения снимаются, если ввести понятие *энтропистата* согласно условию:

$$\frac{|\Delta S|}{S} \gg \frac{|\Delta S_e|}{S_e},$$

где ΔS и ΔS_e — изменение энтропии, соответственно, системы и внешней среды, вызванное их взаимодействием. Другими словами, в роли энтропистата выступает среда, изменением энтропии которой можно пренебречь по сравнению с изменением энтропии исследуемой системы. Например, в задачах на теплопроводность энтропистатом служит среда, поддерживающая постоянную температуру на границах системы. Сильный ветер навстречу идущему человеку вынуждает его наклоняться вперед, т. е. совершать определенные действия, но так как эти действия не оказывают влияния на происходящее в атмосфере, последняя является энтропистатом по отношению к человеку. Большой шум за открытым окном, созданный потоком транспорта, скорее всего, заставит нас закрыть окно, при этом транспортный поток — энтропистат — даже “не заметит нашего поступка”.

Главное преимущество введения понятия энтропистата заключается в том, что оно позволяет исключить внешнюю среду при изучении поведения открытой системы. В частности, все изменения, которые происходят при взаимодействии системы с энтропистатом, относятся к ней самой. Поэтому и новые переменные, необходимые для описания этих изменений, будут относиться к самой системе. Данное положение было учтено в работах [5, 6], где на основе анализа свойств условной энтропии было доказано соотношение:

$$S(X) > S(X|Y_1) > S(X|Y_1 Y_2) > \dots \\ \dots > S(X|Y_1 Y_2 \dots Y_j) > \dots, \quad (2)$$



где $S(X|Y_1 Y_2 \dots Y_i)$ — условная энтропия, соответствующая значению энтропии системы в стационарном состоянии, которое отличается от замкнутого изменениями в структуре, появившимися благодаря внешнему воздействию и описываемыми переменными Y_1, Y_2, \dots, Y_i .

В этом выражении переход от одного неравенства к другому происходит при изменении величины взаимодействия с энтропостатом. Последняя была обобщена в виде феноменологического параметра, названного *степенью открытости системы* α [4].

Как видно из неравенств (2), каждому значению α однозначно соответствует определенное стационарное значение энтропии. Крайние позиции ряда (2) занимают предельные состояния системы. Для крайней левой позиции выполняется $\alpha = 0$, что означает замкнутое состояние, для крайней правой $\alpha = \alpha_{\max}$, что по логике ряда должно означать максимально разомкнутое состояние.

Согласно соотношению (2), сравнение открытых состояний системы корректно, если речь идет о взаимодействии системы с энтропостатом. Пренебрежение указанным обстоятельством приводит к противоречию, которое, в частности, и было отмечено выше на примере задачи о тепловом контакте двух тел, образующих изолированную систему. Поскольку в данной задаче ни одно из тел нельзя считать энтропостатом, то неравенство (1), являющееся частью выражения (2), не может быть применено.

Если значение энтропии в стационарном состоянии, имеющем степень открытости α_i , обозначить как S_{α_i} , то ряд (2) можно представить в виде [4]

$$S_{\alpha=0} > S_{\alpha_1} > S_{\alpha_2} > \dots > S_{\alpha_i} > \dots \quad (3)$$

Данное выражение содержит, как минимум, две закономерности, которые назовем *критериями изменения энтропии в открытой системе*:

1) при увеличении открытости системы от α_1 до α_2 ее энтропия должна уменьшиться от S_{α_1} до S_{α_2} , т. е. в системе должно произойти упорядочение до уровня, соответствующего новой степени открытости; наоборот, при уменьшении открытости системы от α_2 до α_1 ее энтропия должна увеличиться от S_{α_2} до S_{α_1} , т. е. должно произойти увеличение беспорядка до уровня, соответствующего новой степени открытости;

2) каждой степени открытости α однозначно соответствует свое стационарное значение S_{α} ; при этом, если в системе $S > S_{\alpha}$, то в ней будут преоб-

ладать процессы, уменьшающие энтропию, если $S < S_{\alpha}$, то будут преобладать процессы, увеличивающие энтропию; если $S = S_{\alpha}$, то действия процессов, уменьшающих и увеличивающих энтропию, будут компенсировать друг друга и состояние системы окажется стационарным.

Примеров проявления указанных критериев в окружающем мире можно найти множество и некоторые из них приведены в работах [4–6, 16]. Далее мы остановимся на фундаментальных причинах формирования глобальных тенденций и покажем, какую при этом роль играют описанные здесь энтропийные закономерности.

2. ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ ПРИЧИНЫ ФОРМИРОВАНИЯ ГЛОБАЛЬНЫХ ТЕНДЕНЦИЙ И ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА УПРАВЛЕНИЯ ИМИ

Графически выражение (3) можно представить в виде энтропийного ряда, изображенного на рис. 1, где S_0 — начальное значение энтропии; $S_{a.3}$ — значение энтропии системы по окончании некоторого процесса в абсолютно замкнутом состоянии ($\alpha = 0$); S_{α_i} — значение энтропии по окончании этого же процесса в стационарном состоянии, имеющем степень открытости α_i . Затемненная часть столбика показывает уровень энтропии системы в стационарном состоянии.

Всегда отрицательное приращение энтропии, на которое уменьшается стационарное значение S_{α}

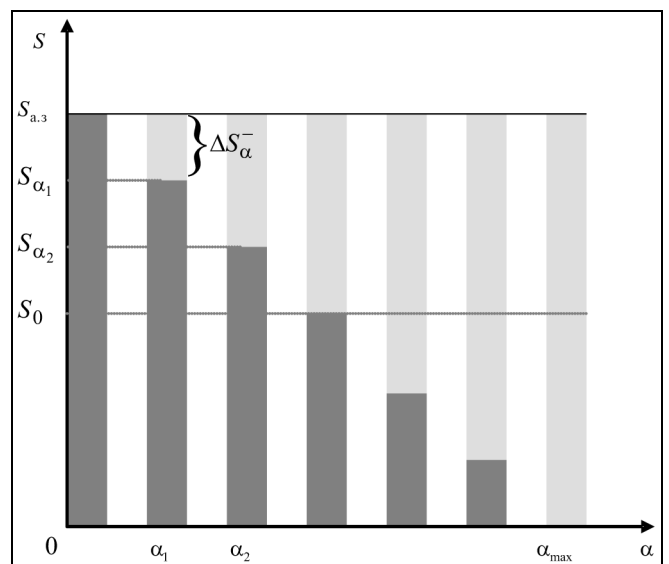


Рис. 1. Энтропийный ряд

по мере увеличения α , обозначим через ΔS_{α}^{-} (см. рис. 1):

$$\Delta S_{\alpha}^{-} = S_{\alpha} - S_{\alpha.3} < 0. \quad (4)$$

В работах [4–6] было показано, что величина (4) является количественной мерой порядка в стационарном состоянии, степень открытости которого равна α .

Величина ΔS_{α}^{-} была названа *критическим уровнем организации* (упорядочения) системы. Смысл этого названия указывает на критериальный характер ΔS_{α}^{-} . Действительно, ΔS_{α}^{-} так же, как и S_{α} , однозначно соответствует степени открытости α . При этом из второго критерия (см. § 1) следует, что если система организована выше своего критического уровня, то в ней преобладают процессы, увеличивающие энтропию, если ниже — процессы, уменьшающие энтропию. На самом критическом уровне действия указанных процессов компенсируют друг друга, и состояние системы становится стационарным.

Отсюда мы получаем два *основных правила управления порядком* в системе (в работе [18] эти правила были названы как “первый способ управления энтропийными закономерностями”; см. также работу [5]).

- Если мы хотим увеличить порядок в системе, то нам необходимо увеличить ее степень открытости, новому значению которой будет соответствовать новый более высокий критический уровень организации. В результате в системе будут преобладать процессы упорядочения и самоорганизации, повышающие ее организацию до нового критического уровня.
- Если требуется уменьшить порядок в системе (дезорганизовать ее), то необходимо уменьшить степень открытости. При этом понизится и критический уровень, что вызовет преобладание процессов, дезорганизующих систему до нового его значения.

В частности, не углубляясь в историю развития различных государств, можно заметить, что государства, на границах которых ужесточается пропускной режим (уменьшается степень открытости), испытывают внутри себя усиление деструктивных процессов и в области экономики, и в области культуры, и в других областях человеческой деятельности, попавших под таможенный пресс. Наоборот, ослабление пропускного режима на границах (увеличение степени открытости) приводит к усилению прогрессивных процессов [4].

При изменении степени открытости системы последняя покидает свое прежнее стационарное состояние и стремится к новому. Далее мы покажем, что при достижении системой нового ста-

онарного состояния в ней могут возникнуть энтропийные колебания. Для этого воспользуемся теоремой И. Пригожина о минимальном производстве энтропии. В соответствии с ней вблизи стационарного состояния увеличение энтропии системы происходит согласно условию [7]

$$\frac{\partial P}{\partial t} \leq 0, \quad (5)$$

где $P = \partial S / \partial t$ — производство энтропии в системе; равенство нулю соответствует стационарному состоянию. Данное условие отражает тот факт, что в процессах, происходящих с увеличением энтропии ($dS > 0$), экстремум функции P соответствует минимуму (см. также работы [19, 20]).

Теперь обратим внимание на важное обстоятельство: в системах, взаимодействующих с энтропостатом, возможна ситуация, когда производство энтропии в системе становится отрицательным, т. е. экстремум функции P может соответствовать максимуму. Действительно, из приведенных в § 1 критериев следует, что увеличение степени открытости системы переводит ее в новое стационарное состояние с меньшей энтропией: $S_{\alpha_2} < S_{\alpha_1}$ при $\alpha_2 > \alpha_1$. Поэтому такой переход сопровождается уменьшением энтропии системы ($dS < 0$). В этом случае производство энтропии P становится отрицательным и в условии (5) изменяется знак. Разумеется, возможна и противоположная ситуация: уменьшение степени открытости приводит к увеличению энтропии нового стационарного состояния: $S_{\alpha_2} > S_{\alpha_1}$ при $\alpha_2 < \alpha_1$; при этом $dS > 0$, P — положительная величина и в условии (5) знак сохраняется.

Неравенство (5) запишем в виде уравнения, добавив некоторую функцию $F(P, S)$:

$$\frac{\partial P}{\partial t} + F(P, S) = 0. \quad (6)$$

На это уравнение распространяются те же ограничения, что и на теорему Пригожина. В частности, оно выполняется в области линейных процессов. Последнее позволило пренебречь всеми слагаемыми, кроме линейных, в разложении функции F в окрестности стационарного состояния. В результате уравнение (6) приняло вид:

$$\frac{\partial^2 S}{\partial t^2} + \beta \frac{\partial S}{\partial t} + \mu S = \mu S_{\alpha}, \quad (7)$$

где $\beta = (\partial F / \partial P)_{P_{\alpha}}$; $\mu = (\partial F / \partial S)_{S_{\alpha}}$; индекс α указывает, что значение функции берется в стационарном состоянии, степень открытости которого α .

При $\mu < 0$ уравнение (7) имеет только неустойчивые стационарные решения. При $0 < \mu \leq \beta^2 / 4$

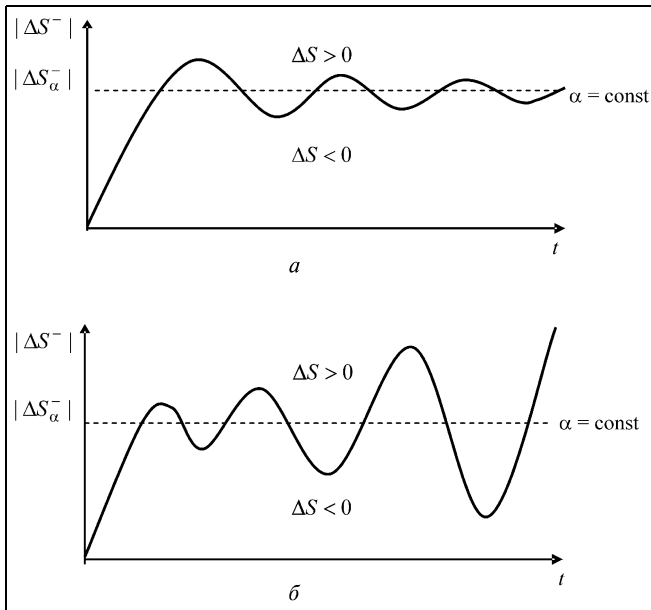


Рис. 2. Энтропийные колебания вокруг стационарного состояния, имеющего степень открытости α :
 а — при $\beta > 0$; б — при $\beta < 0$

решение этого уравнения является устойчивым и аperiodическим. При $\mu > \beta^2/4$ стационарные решения уравнения (7) представляют собой устойчивые колебания вокруг S_α (или, что то же самое, вокруг ΔS_α^-).

При $\beta > 0$ энтропийные колебания являются затухающими (рис. 2, а). При $\beta < 0$ амплитуда колебаний увеличивается с течением времени (рис. 2, б).

Положение о возникновении энтропийных колебаний вокруг критического уровня организации лежит в основе объяснения ряда неблагоприятных тенденций в окружающем нас мире.

Наша планета — это тоже система. Поэтому к ней применимы все закономерности, описанные в настоящей работе для произвольной системы. Так как Земля не является абсолютно замкнутой, то у нее имеется определенная степень открытости, которой соответствует определенный критический уровень организации. Человек преобразует окружающую его среду. При этом его деятельность сопровождается как уменьшением, так и увеличением энтропии среды. Возникает вопрос, каково итоговое изменение энтропии, производимое всем человечеством: больше или меньше нуля? Благодаря введенному выше представлению о критическом уровне организации мы теперь можем ответить на этот вопрос.

Согласно описанным закономерностям, ниже критического уровня на Земле должны преобладать процессы упорядочения и самоорганизации

($\Delta S < 0$), выше — процессы дезорганизации ($\Delta S > 0$). В первом случае человечество, преобразуя окружающий мир, в целом увеличивает в нем порядок больше, чем беспорядок. До каких пор это может продолжаться? До тех пор, пока, создавая, оно не превысит критический уровень организации планеты ΔS_α^- . В этом случае окажутся преобладающими уже процессы дезорганизации (см. рис. 2). В результате вероятность разрушительных событий повысится, и излишек, который человечество построило, выйдя за критический уровень, будет уничтожен (или будет скомпенсирован разрушениями в окружающей среде). По инерции разрушено будет немного больше, чем нужно, чтобы опуститься до критического уровня. Ниже критического уровня будут преобладать процессы самоорганизации, и человечество опять будет строить дома, перегораживать плотинами реки и т. д., т. е. уменьшать энтропию Земли. Спустя некоторое время оно опять превысит критический уровень. Затем все повторяется — возникают энтропийные колебания [4].

В период превышения критического уровня энтропийные закономерности формируют разрушительные тенденции, т. е. повышается вероятность любых событий, способствующих увеличению беспорядка на планете. При этом должны наблюдаться усиление и учащение стихийных бедствий, разрушение экосистем, повышение частоты несчастных случаев, техногенных катастроф, военных и социальных конфликтов и т. д.²

Следует ли отсюда, что нам нужно оставить технический прогресс и перейти к укладу первобытного общества? Не обязательно. Во-первых, не получится. Дело в том, что ниже критического уровня преобладают процессы самоорганизации, ответственные в том числе и за технический прогресс. Это означает, что события, способствующие этому прогрессу, будут иметь большую вероятность, благодаря чему цивилизация все равно будет двигаться к критическому уровню и через некоторое время превысит его. А во-вторых, осознание описанной тенденции не только позволяет предвидеть грядущие тяжкие испытания, но и подсказывает способ их обойти.

Напомним, что значение критического уровня организации зависит от степени открытости сис-

² Заметим, что данные рассуждения переводят статус известного “парникового эффекта” из причины в следствие. Действительно, считаясь ответственным лишь за стихийные явления, этот эффект не обуславливает острых социальных конфликтов, но в то же время наряду с ними (и экологическим кризисом) делает одно общее дело — увеличивает энтропию на Земле — и, следовательно, подчиняется описанным здесь закономерностям.

темы. Следовательно, систему “Земля — человечество” надо еще более открыть, заселив, например, Луну. Фантастично? Но ведь размыкание системы должно быть соразмерно, иначе изменения не будут заметны. Система “Земля — человечество — Луна” получится менее замкнутой, чем прежняя, поэтому критический уровень у нее будет выше и энтропию можно будет уменьшить на большую величину, прежде чем возникнет угроза общего уничтожения. А за это время можно успеть освоить Марс, тем самым разомкнув систему еще больше, и т. д.

Необходимо признать, что до тех пор, пока человечество не научится управлять законами убывания и возрастания энтропии, мир, в котором мы живем, придется постоянно размыкать [4, 17, 21].

Разумеется, вместо освоения Луны можно попробовать отправлять наши отходы в космос, как предлагается авторами некоторых публикаций (см., например, работу [22]). Однако удаление энтропийного мусора с Земли — это, по нашему мнению, удаление частичек её самой. Ну и как долго мы сможем уменьшать нашу планету? Пока она не исчезнет? А ведь интенсивность указанного процесса должна быть отнюдь не маленькой, чтобы, повторим, размыкание для планеты оказалось заметным. Соразмерность размыкания — очень важное условие. Только в этом случае процессы самоорганизации окажутся преобладающими, и вероятность разрушительных событий понизится. Как это может проявиться на практике? Освоение Луны — ближайшего соразмерного с Землей объекта — может быть осуществлено только благодаря объединенным усилиям многих государств. Следовательно, вместо войны придется объединяться [17, 21].

Энтропийные колебания ответственны не только за формирование глобальных тенденций. Их проявление ощутимо и на региональном уровне. Любая структурно организованная географическая местность (регион) представляет собой систему, взаимодействующую с окружающим миром. Следовательно, этот регион имеет определенную степень открытости, которой соответствует определенный уровень порядка — критический уровень организации. Если в данном регионе этот уровень будет превышен, то районы с природным уменьшением энтропии (горные и прилегающие к ним области), а также крупные искусственные постройки будут представлять собой места с повышенной вероятностью возникновения процессов увеличения энтропии. Поэтому в таких районах каждое значительное строительство следует рассматривать как дополнительное уменьшение энтропии с повышенным риском возникновением различных

бедствий. Подробнее о региональных энтропийных тенденциях, а также о мерах по снижению и предотвращению их опасных последствий см., например, в работах [5, 16, 23].

Как уже было сказано во Введении, макроскопический подход не ограничивается энтропийными закономерностями. Важнейшие аспекты формирования тенденций могут быть описаны методами нелинейной динамики. Ниже на примере экономической системы мы покажем, как нелинейность при определенных условиях дает преимущество в конкурентной борьбе.

3. УСТОЙЧИВОСТЬ РЫНКА СМЕШАННОГО КАПИТАЛА

Фазовое пространство диссипативных систем, к которым относится и большинство экономических систем, заполнено совокупностью устойчивых и неустойчивых стационарных состояний. Выбор во времени той или иной последовательности этих состояний определяется интервалом значений так называемых *управляющих параметров* — постоянных величин, с помощью которых внешний мир закрепляет свои отношения с системой. Поскольку речь идет о фазовом пространстве, то все необратимые процессы должны происходить с изменением энтропии. Последнее же регулируется закономерностями, описанными в § 2. В частности, управляя внешним воздействием на систему (степенью ее открытости), мы управляем тенденциями увеличения или уменьшения порядка в ней. В рамках нелинейной динамики изменение интервала управляющих параметров соответствует изменению внешнего воздействия на систему [24]. Следовательно, выбирая те или иные значения управляющих параметров, мы также можем управлять тенденциями, т. е. изменять вероятность событий в нужную для нас сторону. В частности, мы можем текущее устойчивое состояние системы сделать неустойчивым и наоборот.

Далее мы определим, какие величины являются управляющими параметрами для системы “рынок субъектов с частной и государственной формами собственности”. Кроме того, мы попробуем ответить на вопрос: может ли быть устойчивой экономика, базирующаяся на смешанном капитале? И если да, то при каких обязательных условиях?

Управляющие параметры выступают в качестве постоянных величин, входящих в эволюционное уравнение для непрерывных процессов или в его аналог — точечное отображение — для дискретных процессов (здесь и далее мы следуем терминологии, принятой в работе [8]). Применение точечного отображения наиболее удобно, если изучаемые процессы — марковские. Для системы “рынок”



ожидаемый объем очередной продажи, как правило, можно оценить по результатам предыдущей, что характерно для марковских процессов. Поэтому анализ устойчивости проведем методом точечных отображений, математическое выражение которых, как известно, дается уравнением вида $X_{n+1} = F(X_n)$.

Пусть X и Y — одинаковые или взаимозаменяемые товары. Товар X реализуется частным предпринятием; Y — государственным. Введем обозначения: X_{n+1} (или Y_{n+1}) — ожидаемый объем очередной продажи; X_n (или Y_n) — объем предыдущей продажи. Единицы измерения принципиального значения не имеют. Конкретные выражения для точечных отображений определим путем составления главных пропорций [25], т. е. таких соотношений, которые являются характерными для действительной изучаемой системы, в данном случае — для операций на рынке.

В случае частного продавца идея составления главной пропорции формулируется следующим образом: ожидаемый объем очередной продажи пропорционален объему, предъявленному к продаже, и спросу на товар X . Как правило, частный предприниматель, решая, сколько товара предъявить к продаже, ориентируется на то, сколько его было продано в предыдущий раз. Кроме того, полагая, что главным фактором, определяющим средний (в рассматриваемом регионе) спрос на тот или иной товар, является доход среднего (в том же регионе) покупателя, получаем: спрос на товар X пропорционален доходу среднего покупателя за вычетом той части этого спроса, которая была удовлетворена покупкой товара Y вместо товара X .

В случае государственного продавца отличие состоит в том, что объем, предъявленный к продаже, определяется, в первую очередь, государственными нуждами, а не конъюнктурой рынка, и является постоянной величиной A в том смысле, что слабо зависит от номера итераций точечного отображения в принятых нами обозначениях. Остальные пропорции не изменяются.

Сформулированная таким образом задача была решена в работе [26], где получены следующие результаты.

Точечные отображения, характеризующие процесс торговли, имеют вид:

$$X_{n+1} = X_n(\alpha C_0 - \mu\beta_x X_n Y_n) \quad (8)$$

— для частного продавца;

$$Y_{n+1} = A(\alpha C_0 - \mu\beta_y X_n Y_n) \quad (9)$$

— для государственного продавца. В этих формулах β_x — цена товара X ; β_y — цена товара Y ;

C_0 — доход среднего (в данном регионе) покупателя; α и μ — коэффициенты пропорциональности.

Стационарный объем продаж частного предпринимателя будет устойчивым при условии

$$1 < \alpha C_0 < 3, \quad (10)$$

а государственного — при условии

$$0 < \alpha C_0 < \frac{1}{1 - 0,5\beta_x/\beta_y}. \quad (11)$$

Кроме того, обе формы собственности устойчиво сосуществуют на одном рынке, не вытесняя одна другую (цивилизованная конкуренция), если установленные ими цены удовлетворяют неравенству:

$$\beta_x \leq 4\beta_y/3. \quad (12)$$

Итак, стационарное сосуществование субъектов рынка с частной и государственной формами собственности возможно. Из условий устойчивости (10)—(12) следует, что в качестве главных управляющих параметров системы “рынок” выступают доход среднего покупателя C_0 и отношение цен, устанавливаемых участниками рынка.

Предположив, что государственные цены менее подвижны, чем частные, из неравенства (12) получаем, что устойчивость рынка не нарушится даже в том случае, если частный предприниматель станет продавать свой товар немного дороже государственного в указанном пределе: средняя цена β_x может быть больше средней цены β_y , но не более чем на 1/3.

Данный вывод имеет важное следствие. Системные свойства представителей частного капитала (в математическом отношении — более высокая *нелинейность* отображения (8) по сравнению с отображением (9)) дают им принципиальную возможность получать большую прибыль по сравнению с государственными субъектами при прочих равных условиях. Разница в прибыли может составить около 30 % в условиях устойчивого сосуществования, т. е. когда ни одна из конкурирующих форм собственности не вытесняет другую. В настоящем исследовании прочие равные условия были учтены введением в уравнения (8) и (9) одних и тех же коэффициентов α и μ .

Этот вывод подтверждается и анализом условий устойчивости (10) и (11). В частности, из левой части неравенства (10) следует, что для устойчивого положения участника рынка с частной формой собственности минимальный объем очередной продажи не может быть меньше предыдущего. Действительно, в соответствии с уравнением (8) при отсутствии конкуренции (т. е. при отсутствии

отрицательного слагаемого) нижняя граница условия устойчивости (10) означает, что объем продажи X_{n+1} должен быть не меньше объема X_n . Другими словами, частный предприниматель имеет устойчивое положение на рынке только в том случае, если каждый очередной раз продает не меньше, чем в предыдущий. Напротив, для государственного участника рынка условие устойчивости (11) требует всего лишь, чтобы объем очередной продажи был чуть больше нуля.

Таким образом, в отличие от государственного, системные особенности частного предпринимателя вынуждают его работать экономически эффективно.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные критерии изменения энтропии образуют фундаментальную основу причин системных тенденций в природе и обществе.

Универсальность данных критериев заключается в том, что они обязательны для любого объекта, если этот объект — система, в которой происходят необратимые процессы. Специфика системы проявляется лишь на уровне механизмов, которые она задействует с целью выполнения установок этих критериев. Например, замыкание (уменьшение степени открытости) должно привести к дезорганизации. Замыкание на биологическом или физическом системном уровне порождает разрушительные процессы биологической или физической специфики, замыкание общественной системы неизбежно порождает процессы социальной напряженности и т. д.

С помощью критериев изменения энтропии можно управлять основными тенденциями в системе. Изменяя степень её открытости, мы повышаем или понижаем значение стационарного уровня порядка в системе — критический уровень организации. Тем самым мы изменяем вероятность происходящих в системе событий, т. е. порождаем тенденцию. Например, эмбарго для какой-либо страны означает уменьшение ее степени открытости. В результате в этой стране неизбежно увеличится вероятность разрушительных событий, имеющих экономическую и социальную специфику. Причем лидерам страны бесполезно взывать к разуму своих сограждан или принимать репрессивные меры. Все равно вероятность событий изменится таким образом, чтобы беспорядок возрос до уровня, соответствующего оставшейся степени открытости внешнему миру. Снятие эмбарго — увеличение степени открытости — неизбежно порождает прогрессивные процессы.

Применение энтропийных критериев к системе “Земля”, позволяет прогнозировать глобальные тенденции и управлять ими. Сравнительно постоянная степень открытости Земли задает определенный критический уровень упорядочения на планете. Человечество же, созидая в мирное время, неизбежно стремится превысить этот уровень. И когда это происходит, то, несмотря ни на какие мирные инициативы и экологические программы, на Земле обязательно должны преобладать процессы дезорганизации. В то же время увеличение открытости планеты (например, в результате целенаправленного и масштабного освоения космоса) повысило бы и значение ее критического уровня, что привело бы к преобладанию процессов самоорганизации, и только тогда реализация экологических программ смогла бы эффективно восстанавливать природную среду, а человечество пришло бы к состоянию устойчивого мирного сосуществования.

Управляющие параметры в нелинейной динамике — это аналог внешнего воздействия энтропата на систему. Управление тенденциями в этом случае осуществляется посредством изменения значений управляющих параметров. Для системы “рынок” в качестве основных управляющих параметров выступают доход среднего покупателя и отношение цен, устанавливаемых участниками рынка. Изменяя указанные управляющие параметры, мы можем нарушить любое из условий (10)—(12). В результате система “рынок” сразу же дестабилизируется. Важно обратить внимание на то, что одним из этих параметров является доход среднего покупателя, а не средний доход на душу населения. Последний, как известно, наиболее часто фигурирует в официальных отчетах, т. е. получается, что основной управляющий параметр остается вне контроля. А ведь именно этот параметр (наряду с отношением цен) и задает направление главных тенденций системы “рынок” — к устойчивому состоянию или наоборот.

Рыночная деятельность предприятия с частной собственностью, благодаря его системным особенностям, приносит ему большую прибыль по сравнению с государственным предприятием при прочих равных условиях. В процентном отношении это преимущество в расчете на одного субъекта рынка может достигать примерно 30 % (речь идет о цивилизованной экономической конкуренции, когда ни одна форма собственности не вытесняет другую). Поэтому налог с доходов частных предприятий по сравнению с государственными даст значительно большие поступления в общественный бюджет. Отсюда: главная задача общества с бедным государственным бюджетом заключается в



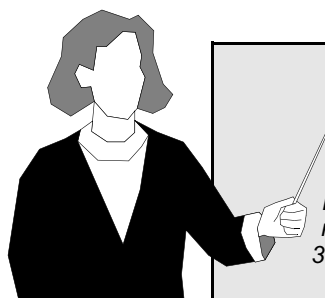
формировании тенденций, ведущих к увеличению доли частного капитала. Сначала налоги с частного капитала должны наполнить государственный бюджет, а уж затем, по мере наполнения последнего, общество сможет его тратить на создание государственных предприятий с целью оказания каких-либо услуг населению.

У вывода об экономическом преимуществе частного капитала над государственным существует ограничение, действие которого следует ожидать, возможно, только в будущем. Например, в обществе с полной общей автоматизацией производства положение о зависимости спроса среднего покупателя от его дохода становится необязательным. В этом случае ключевые уравнения (8) и (9), составление которых опирается на это положение, перестают правильно описывать ситуацию. Следовательно, и выводы, сделанные в предыдущем абзаце теряют свою жесткость. На практике данное ограничение может быть заметным в тех странах, в которых общество имеет богатый бюджет и через социальную помощь может удовлетворить многие потребности граждан независимо от их личного дохода.

ЛИТЕРАТУРА

1. Климонтович Ю. Л. Статистическая физика. — М.: Наука, 1982.
2. Терлецкий Я. П. Статистическая физика. — М.: Высшая школа, 1994.
3. Лоскутов А. Ю., Михайлов А. С. Введение в синергетику. — М.: Наука, 1990.
4. Шаповалов В. И. Энтропийный мир. — Волгоград: Перемена, 1995.
5. Шаповалов В. И. Основы синергетики: макроскопический подход. — М.: Испо-Сервис, 2000.
6. Шаповалов В. И. Формирование системных свойств и статистический подход // Автоматика и телемеханика. — 2001. — № 6. — С. 57—68.
7. Пригожин И. От существующего к возникающему. — М.: Наука, 1985.
8. Николис Г., Пригожин И. Познание сложного. — М.: Мир, 1990.
9. Хакен Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах. — М.: Мир, 1985.
10. Берже П., Помо И., Видаль К. Порядок в хаосе. — М.: Мир, 1991.
11. Князева Е. Н., Курдюмов С. П. Законы эволюции и самоорганизация сложных систем. — М.: Наука, 1994.
12. Колесников А. А. Основы теории синергетического управления. — М.: Испо-Сервис, 2000.
13. Малинецкий Г. Г., Потапов А. Б. Современные проблемы нелинейной динамики. — М.: Едиториал УРСС, 2002.
14. Синергетика и проблемы теории управления / Под ред. А. А. Колесникова. — М.: Наука, 2004.
15. Климонтович Ю. Л. Статистическая теория открытых систем. — М.: Янус, 1995.
16. Прангишвили И. В., Пащенко Ф. Ф., Бусыгин Б. П. Системные законы и закономерности в электродинамике, природе и обществе. — М.: Наука, 2001.
17. Шаповалов В. И., Казаков Н. В. Законы синергетики и глобальные тенденции // Общественные науки и современность. — 2002. — № 3. — С. 141—148.
18. Прангишвили И. В. Энтропийные и другие системные закономерности: вопросы управления сложными системами. — М.: Наука, 2003.
19. Базаров И. П., Геворкян Э. В., Николаев П. Н. Неравновесная термодинамика и физическая кинетика. — М.: МГУ, 1989.
20. Хайтун С. Д. Механика и необратимость. — М.: Янус, 1996.
21. Шаповалов В. И., Казаков Н. В. Энтропийные закономерности и формирование глобальных тенденций // Стратегия динамического развития России: единство самоорганизации и управления: Материалы Первой междунар. научн.-практ. конф. — М.: 2004. — Т. III, ч. II. — С. 180—184.
22. Лийв Э. Х. Инфодинамика, обобщенная энтропия и негэнтропия. — Таллинн, 1998.
23. Шаповалов В. И., Казаков Н. В., Гончаров Н. В. Энтропия и экологические проблемы регионов // Сб. тр. IV традиц. научн.-техн. конф. стран СНГ "Процессы и оборудование экологических производств". — Волгоград, 1998. — С. 242, 243.
24. Хакен Г. Самоорганизующееся общество // Стратегия динамического развития России: единство самоорганизации и управления: Материалы Первой междунар. научн.-практ. конф. — М.: 2004. — Т. III, ч. I. — С. 6—28.
25. Хакен Г. Синергетика. — М.: Мир, 1980.
26. Шаповалов В. И. Модель устойчивости экономической системы смешанного типа // Синергетика и проблемы теории управления. — М., 2004. — С. 447—453.

E-mail: vish@cnt.ru



Вниманию подписчиков!

В каталоге "Роспечати" на I полугодие 2005 г. ошибочно указана периодичность журнала "Проблемы управления" — 4 номера в год. Однако с 2005 г. мы выходим 6 раз в год. Если Вы подписались по каталогу "Роспечати", то для получения № 3/2005 Вам необходимо на него подписаться по объединенному каталогу "Пресса России" (индекс 38006) или через Редакцию.

ПРОБЛЕМЫ ГЛОБАЛИЗАЦИИ ПАРАДИГМЫ УПРАВЛЕНИЯ В МАТЕМАТИЧЕСКИ ОДНОРОДНОМ ПОЛЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФОРМАЦИИ. Ч. II. К единому функциональному пространству

Ю. С. Затуливетер

Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН

Рассмотрены особенности формирования социометасистемы и ее перехода в новое состояние в условиях глобального информационного пространства. Выделены и с общих позиций исследуются компьютерные проблемы глобализации парадигмы управления. Обоснована аксиоматика математически однородного поля компьютерной информации в модели исчисления древовидных структур. Сформирован подход к решению глобальных задач управления в математически однородном поле компьютерной информации.

ВВЕДЕНИЕ

С развитием глобальной компьютерной среды растут масштабы и темпы кибернетизации социосистемы [1]. Вместе с вращением компьютерной среды в социальную среду увеличивается разнообразие задач глобально распределенного управления, затрагивающих все большее число сфер жизнедеятельности.

Компьютерная среда в целом способна стать универсально программируемым каналом обратной связи между социальной средой (со всеми ее структурами) и человеческим интеллектом (в индивидуальном и социальном проявлениях), носителем которого она является. Функциональные возможности и пропускная способность автоматической реализации процессов управления этого канала потенциально неограничены. Гарантируя беспрецедентную эффективность, надежность и безопасность, компьютерная среда сможет взять на себя исполнение многих массовых процессов рутинного управления в целях саморегулирования и самоорганизации социальной среды.

Накапливая информацию о предшествующих состояниях социальной среды, обеспечивая в реальном времени совокупный сбор текущей информации (в том числе информационную активность потенциально каждого субъекта), а также своевременную переработку накопленной и собранной

информации, выработку, доставку и исполнение управляющих воздействий, компьютерная среда станет универсальным инструментом обеспечения устойчивого развития человечества. Полномасштабная реализация глобальных контуров автоматического управления соединит компьютерную и социальную среды в единую кибернетическую социометасистему [1] с большим запасом устойчивости, не уступающим природным системам.

Погружение социальной среды в глобальное информационное пространство ведет к нарушению сложившихся в прежние времена общесистемных балансов. В условиях экспоненциального роста информационных потоков отработанные веками экономические, политические и бюрократические рычаги управления утрачивают свою действенность и универсальность. Глобальная кибернетизация социосистемы требует формирования принципиально новых — вполне компьютерных — контуров управления. Только они способны в целях саморегулирования и самоорганизации социальной среды в реальном времени перерабатывать растущие потоки информации. Без этого невозможно отыскание и установление новых системных балансов, необходимых для устойчивого и безопасного развития социальной среды в условиях глобального информационного пространства.

В ходе начавшейся и ускоряющейся кибернетизации социосистема непрерывно претерпевает



структурные изменения. В глобальном информационном пространстве следствия различных причин изменений могут с необходимостью затрагивать потенциально многие, заранее не предусмотренные стороны управления социальной средой. Принципиально неустранимая информационная инерционность функционально разнородного пространства, какое сейчас представляет глобальная компьютерная среда, делает практически невозможной своевременную и адекватную реакцию на глобально распространяющиеся изменения.

Необходимым условием компьютерной глобализации парадигмы управления является формирование из функционально разнородной Сети единого, структурно и функционально целостного пространства. Без этого невозможны воплощение и массовое взаимодействие глобально распределенных процессов управления в непрерывном спектре меняющихся задач саморегулирования и самоорганизации социосистемы.

Проблемы перехода от сложившейся доминанты локальных задач управления к глобальным постановкам и методам решения имеют два неразрывно связанных компонента. Первый — разработка методов постановки и теоретического решения *изначально* глобальных задач управления, вплоть до формирования и идентификации практически значимых глобальных моделей. Второй — построение компьютерных методов и средств индустриального воплощения теоретически обоснованных и идентифицированных глобальных моделей.

Компьютерная глобализация парадигмы управления предполагает интеграцию до сих пор независимо развивавшихся наук об управлении и компьютерных наук на основе единой аксиоматики.

Для преодоления чрезвычайной разнородности локальных, взаимно изолированных информационных подпространств, унаследованных от прежних этапов социального развития и всех предшествующих этапов компьютеризации информационного пространства, требуется единое, математически однородное функциональное пространство глобальной компьютерной среды. В нем все этапы формирования глобальных моделей управления и все технологические звенья их компьютерного воплощения должны соединиться напрямую и образовать сквозную технологию индустриального решения глобальных задач.

Задачи интеграции изначально локализованных, потому разнородных, компьютерных решений и систем имеют комбинаторную сложность, которая усугубляется необходимостью учета контекста, в котором осуществляется интеграция. Из-за быстрых изменений контекста решаемых в глобальном информационном пространстве задач адекватные верхние ограничения размерности и числа разнородных информационных подпространств,

требуемых интеграции, в общем случае становятся невозможными. В рамках ныне действующих компьютерных канонов и канонов управления “проклятие размерности” делает комбинаторный путь к полномасштабной компьютерной глобализации парадигмы управления неосуществимым.

В связи с этим проблема компьютерной глобализации парадигмы управления и формирования единого функционального пространства глобально распределенных процессов управления обретает фундаментальный характер, поскольку требует изменения действующих постулатов. В новой, объединяющей аксиоматике необходимо устранить причины появления комбинаторных факторов. Один из главных — разнородность совокупности локализованных информационных и функциональных пространств, в которых строятся и воплощаются модели управления. Это принципиальный мотив к объединению основ кибернетики и компьютерных постулатов в ориентации на качественно новые требования глобального информационного пространства. И для кибернетической, и для компьютерной составляющих этой проблемы должны быть найдены единые принципы отхода от первичной локальности и перехода к первичной глобальности задач управления.

В продолжение работы [1] в данной статье излагаются результаты исследования принципов кибернетизации социосистемы в условиях глобальной компьютерной среды. Формулируются методологические проблемы компьютерной глобализации парадигмы управления. Предлагаются принципы формирования единого функционального пространства компьютерного решения задач управления в общей аксиоматике математически однородного поля компьютерной информации. На этой основе выявляются возможности построения простых в применении сквозных индустриальных технологий решения глобально распределенных задач управления в социометасистеме — от исходных постановок и теоретических моделей до реализаций массовых систем и процессов управления в глобальной компьютерной среде.

1. РОЛЬ ИНФОРМАЦИИ В ЭВОЛЮЦИИ СОЦИОСИСТЕМЫ

В отсутствие глобального информационного пространства альтернативы локализуемым задачам и системам не могло быть. Эволюция одарила человека *уникальной* способностью к универсальной обработке информации, но вместе с этим она жестко локализовала его информационный доступ к разнообразию воплощений внешней среды. Поэтому каждый человек изначально пребывает в своем “персональном” информационном подпро-

странстве, его информационная картина мира заведомо локализована и в той или иной степени фрагментарна.

Совокупность индивидуальных информационных подпространств и информационная картина социальной среды в целом далеко не одно и то же. Соотношение и взаимосвязи частей и целого в этом случае — одна из самых острых и трудных среди “вечных” тем социального развития.

На протяжении всей истории социальный прогресс неразрывно связан с развитием форм представления и способов обработки информации. От простейших сигнальных систем (звуки, жесты), применения огня и первых орудий труда к формированию речи, письменности, основ государственности. Современные цивилизации — результат эволюции государственных структур социальной самоорганизации.

Государственность впервые соединила разрозненные примитивные формы социальной самоорганизации в сложные иерархии систем взаимосвязанных технологических процессов управления, в которых способность к своевременной переработке разнообразной информации обеспечивала выживание народов в противостоянии с природой и между собой. Уже первые государства представляли собой программируемые информационные агрегаты, собираемые в социальной среде посредством разделения, специализации и синхронизации важнейших функций переработки информации в целях управления.

Государство, как информационный агрегат, стало основой осуществления управляющих процессов, обеспечивавших определенную ориентацию разнонаправленных векторов устремлений множества людей и последующее их суммирование в высокоорганизованные воздействия в тех или иных целях. Этим обеспечивается существенное повышение жизнестойкости самоидентифицирующих себя в государственности социумов. Нетрудно видеть, что величина равнодействующего вектора может быть пропорциональной численности сообщества, охваченного государственным управлением. Понятно, что целостная управляющая структура давала неоспоримые преимущества в противостоянии со слабо организованными сообществами.

Совершенствование информационных технологий становится основой роста масштабов и темпов социального прогресса. С книгопечатанием информационные технологии обрели индустриальные качества массового воплощения действий накопления информации. Телеграф, телефон, радиосвязь открыли возможности глобализации действий передачи информации.

Появление компьютеров открыло принципиально новый этап человеческой истории. Компьютер стал первым искусственным воплощением доселе уникального качества, присущего только *homo sapiens* — способности к универсально программируемой переработке информации. Реализуя модель универсального автоматического счета, компьютер связал сквозным технологическим циклом универсальной переработки информации все ранее разрозненные виды действий с информацией — хранение, передача, преобразование. С появлением компьютерной индустрии началась глобальная реорганизация информационного пространства, единственной основой которого до сих пор оставалось лишь социальное поле человеческого сознания.

Компьютер стал органичным дополнением человеческих способностей программируемой переработки информации. Компьютер и компьютерная среда — идеальный инструмент преодоления информационной рутины. По мере развития социальной среды информационная рутина самовоспроизводится в лавинно растущих потоках информации, которые необходимо перерабатывать в реальном времени. В дальнейшем социальный прогресс уже не мыслим вне глобальной компьютерной среды. Совершенствование социальной среды стало напрямую зависеть от качества компьютерной среды и умения решать с ее помощью глобальные задачи управления.

Эволюции информационных технологий сопутствовал количественный рост разнородности информационного пространства, основанного только на сознании человека. Это был затяжной период накопления разнообразия специализированных носителей информации и средств ее “ручной” переработки в человеческой среде.

Между эволюцией живых организмов и эволюцией информационных технологий усматривается прямая аналогия. И в том и другом случае накопление количественного фактора специальных “решений” через качественный скачок привело к появлению универсального “решения”. Создание компьютера как универсальной информационной машины можно сопоставить только с появлением человека. Формирование глобальной компьютерной среды можно соотнести с появлением государств как программируемых управляющих агрегатов, обеспечивающих саморегулирование и самоорганизацию социальной среды на основе ее возможностей универсальной переработки информации.

В этом повторном достижении информационной универсальности можно усмотреть характеристические свойства эволюционных процессов, безотносительно к “расходному материалу”, кото-



рый используется в том или ином эволюционном процессе.

Характеристический *метод* эволюций — формирование нарастающих разнородных множеств промежуточных специализированных решений с увеличивающимся, но ограниченными числом исполняемых функций, которые жестко фиксируются в физической структуре специализированных “агрегатов”.

Характеристическая *цель* эволюций — формирование завершающей физической структуры *универсального* информационного агрегата с перезаписываемой памятью, способного выполнять различные функции, которые кодируются и хранятся в этой памяти в виде программ. Реализация функций осуществляется физической структурой универсального агрегата посредством универсального механизма управления динамической интерпретацией информационных действий, закодированных в программах. В структуре универсального информационного агрегата жестко фиксируется не сами функции, а только универсальный механизм интерпретации программ этих функций.

Развитие компьютеров и глобальной компьютерной среды ведет к кибернетизации социосистемы и кардинальным изменениям принципов самоорганизации, саморегулирования и устойчивого развития, социальной среды [2, 3]. Главные проблемы, которые предстоит решать в течение длительного времени, связаны с изменением прежней роли человека в обеспечении функций стабильного функционирования социальной среды как информационных агрегатов. Теперь многие рутинные функции управления на всех социальных уровнях (от сфер интересов индивидуумов, их минимальных объединений до сложных корпоративных, вплоть до государственных и надгосударственных структур) предстоит делегировать глобальной компьютерной среде, поскольку другого пути повышения качества управления социальными процессами нет. С учетом массовости прежней вовлеченности людей в решение этих задач можно предположить, что процессы “передачи полномочий” могут быть весьма болезненными.

Для устойчивой работы информационных агрегатов, формируемых в социальной среде из людей, всегда требовались большие и неординарные усилия по “конструированию” управляющих структур и непрерывному удержанию их целостности, обеспечению дееспособности, своевременной реструктуризации. Субъективный фактор изначально нестабилен и алогичен, поэтому инициирует и непрерывно воспроизводит множество проблем в достижении устойчивости, надежной и эффективной работы таких агрегатов. Эти проблемы практически не поддаются формализации, потому ре-

шаются эмпирически, с неизбежными противоречиями.

Главная роль в решении этих проблем пока принадлежит экономическим, политическим и бюрократическим инструментам управления, которые в условиях сверхбыстрого роста информационных потоков в глобальном информационном пространстве не могут сохранять свою действенность и универсальность.

В компьютерной среде проблемы агрегатизации функций управления социальными процессами обретают совершенно иные приоритеты. Компьютер как автоматический инструмент универсальных вычислений позволяет исключить субъективный фактор из рутинных процессов переработки информации.

С развитием технологий функциональные возможности и эксплуатационные характеристики компьютеров и глобальной Сети стремительно улучшаются. Главные приоритеты с проблем организации процессов управления посредством человеческой информационной среды, связанных, прежде всего, с субъективным фактором, переходят к формализуемым проблемам аналитико-компьютерного решения взаимосвязанных задач управления в социальной среде как единой социосистеме.

Здесь относятся все этапы формализации задач и построения моделей управления с гарантированными свойствами, идентификации этих моделей и последующее воплощение в глобальной компьютерной среде. Компьютерная глобализация парадигмы управления позволит и методологически, и технологически соединить эти этапы в едином, математически однородном функциональном пространстве. С глубокой кибернетизацией социосистемы открываются перспективы кардинального повышения качества процессов управления за счет научно выверенной и автоматической переработки растущих потоков информационной рутины.

2. МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ КРИЗИС ПАРАДИГМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Глобальное информационное пространство открывает эпоху глобальных задач и систем. Но по инерции задачи продолжают формулироваться и решаться, а системы разрабатываться в изначальном (по умолчанию) предположении их локальности. Такой обязательный исходный посыл назовем “презумпцией локальности”. В отсутствие глобальной информационной связности ему не было альтернативы. Этот метод пока доминирует и в практике, и в теории. В кибернетике он легализован как метод “черного ящика”. Презумпция локальности и крайняя разнородность информа-

ционных подпространств, которые до сих пор сопровождали развитие социометасистемы, — две стороны медали.

Презумпция локальности задач доминировала в течение всей человеческой истории. Био-социальная изолированность информационных пространств человека предполагает локальные решения, а локальные решения воспроизводят все новые изолированные информационные пространства.

По мере увеличения числа связанных компьютеров и наполнения их информацией многочисленные локальные области понуждаются к взаимодействиям, но неизбежная разнородность информации локальных областей сильно их затрудняет.

В глобальном информационном пространстве де-факто происходит “смена власти”. Глобализация информационного пространства посредством компьютерной среды меняет презумпцию локальности задач управления на презумпцию глобальности.

Глобальность информационного пространства компьютерной среды предполагает глобальность компьютерных решений, а глобальные решения расширяют сферы влияния глобального информационного пространства, стимулируя спрос на новые глобальные задачи.

Перечислим признаки глобальности задач и систем:

- априори неопределенное число факторов влияния;
- существенная зависимость от изменений внешнего контекста;
- принципиальная несводимость к конечным множествам локальных решений;
- глобальные требования к структурной и функциональной целостности.

Продолжая сравнение локальности и глобальности, отметим важное свойство: глобальные задачи и системы легко, не меняя своего статуса глобальности, вписываются в локальные контексты и при этом не критичны к изменениям этих контекстов. Но обратное невозможно в принципе. Никакое конечное множество локальных задач и систем не может эквивалентно представить свойства глобальных задач и систем. Локальные задачи и системы весьма критичны к изменениям контекста, в который они встроены, а сложность интеграции локальных решений и систем комбинаторно зависит от степени разнородности информационных пространств, в которых они построены.

Один из базовых тезисов кибернетики о *единстве* процессов управления в живых и искусственных системах [4] до сих пор не имел подтверждения в теории и практике, оставаясь поэтому, фактически, гипотезой. Все искусственные системы,

предшествовавшие глобальной компьютерной среде, построены в презумпции локальности, а живые — “вращены” эволюцией, по сути, в презумпции глобальности (нерасчленимая целостность объединения всех функциональных компонентов и подсистем). В такой ситуации заявленного “единства” нельзя было обнаружить ввиду отсутствия подтверждающих фактов. Искусственные системы, реализованные в презумпции локальности, существенно отставали от живых по своей сложности и системной целостности.

Компьютерная составляющая социометасистемы, погружающейся в глобальное информационное пространство, стала первой искусственной системой с признаками глобальной системы. Все подсистемы с управлением, которые требуется создать для ее перевода в новое метасостояние [1], изначально носят характер глобальных.

Глобализация компьютерной среды привела к практическому подтверждению гипотезы, что переводит ее в ранг постулатов. Только теперь искусственные системы с управлением из своего частного (вырожденного до локализуемости) случая могут перейти в разряд сопоставимых с живыми.

Немного о прецедентах глобализации информационных пространств.

Появление дифференциального и интегрального исчисления можно рассматривать как скачкообразный переход науки в новое метасостояние, в котором презумпция локальности методов решения задач, сменилась презумпцией глобальности единого метода. Исчисление Ньютона—Лейбница взяло на себя роль метапарадигмы [1] глобализации математически однородного поля, в котором разнообразные задачи на бесконечных множествах обрели единый (путем композиции фиксированного набора первичных правил) метод операторного решения.

Это был первый и очень продуктивный опыт глобализации и междисциплинарной интеграции информационного пространства науки. Математически однородное поле дифференциального и интегрального исчислений соединило два замечательных качества. Во-первых, в своих асимптотиках бесконечно малого и бесконечно большого оно фундаментальным образом вписалось в картину вселенной, которая сама, по сути, является продуктом асимптотически сходящихся физических процессов. Во-вторых, предложило простой и универсальный операторный язык решения неограниченного круга задач. Сочетание этих качеств впервые обеспечило возможности моделирования мира во многих его проявлениях, т. е. его адекватного и сверхкомпактного отображения в информационные образы, послушные, в отличие от самого мира, прозрачным математическим манипуляциям.



Математический аппарат науки об управлении существенным образом опирается на теорию дифференциальных и интегральных уравнений. Однако все большее число практических задач управления оказывается в промежуточной зоне между асимптотиками бесконечно большого и бесконечно малого. Та часть мира, в которой живет человек и развивается социосистема, существенным образом содержит дискретные компоненты, не подчиняющиеся асимптотическим законам.

Компьютеры пришли, чтобы “пустота” между пространственно-временными асимптотиками наполнилась конструктивными, логически корректными формализмами, пригодными для машинных манипуляций, позволяющими моделировать мир в его неасимптотических проявлениях. К этой части мира относится практически неограниченное число пространств конечных множеств элементов и подсистем социометасистемы, которые можно рассматривать как расходные материалы конструирования глобально распределенных систем управления социальным развитием.

Однако для компьютерного решения глобальных задач управления в социометасистеме общие методологические предпосылки как в части постановки и решения задач, так и в части их воплощения в глобальной компьютерной среде пока отсутствуют.

До появления единого математически однородного поля дифференциального и интегрального исчисления, воплотившего презумпцию глобальности метода решения, многочисленные задачи определения длины кривых линий, площадей и объемов фигур и тел сложных форм решались частными (локальными) методами, применимыми только к отдельной задаче. В отсутствие математически однородного поля компьютерной информации современное программирование также реализует презумпцию локальности: “для каждой задачи свой метод и своя программа”. Так же, в презумпции локальности, до сих пор решаются и практические задачи управления.

Глобализация парадигмы управления в компьютерной среде, охватывающей социальную среду во все большем числе ее измерений, откроет возможности трансформации потенциально управляемого хаоса несвязных элементов и подсистем в любые требуемые искусственные системы с управлением, которые необходимы для перевода социометасистемы в новое состояние [1] и обеспечения устойчивости социального развития в условиях глобального информационного пространства.

В качестве метапарадигмы компьютерной глобализации парадигмы управления, обеспечивающей переход от локальных задач управления к глобальным, можно рассматривать математически од-

народное поле компьютерной информации на основе исчисления древовидных структур [5]. Глобализация парадигмы управления в математически однородном поле компьютерной информации сводится к формированию единого функционального пространства и построению в нем универсального базиса решения глобально распределенных задач управления. Есть основания полагать (см. далее § 6), что в исчислении древовидных структур разнообразные задачи управления в социометасистеме обретут (по аналогии с исчислением Ньютона—Лейбница) единый метод операторного решения посредством функционально замкнутых композиций фиксированного набора первичных правил.

3. ОБЩЕКМПЬЮТЕРНЫЙ КРИЗИС

Логической и функциональной основой компьютеростроения и индустрии программирования остается классическая аксиоматика в модели Дж. фон Неймана [6]. Эта модель была предложена как простейшая практически значимая модель автоматических универсальных вычислений. По критерию пригодности к массовому производству компьютеров и программ она выдержала жесткую конкуренцию с более поздними альтернативными моделями. Подтверждением ее преимуществ стали массовые тиражи микропроцессоров, ставших идеальным воплощением классической модели.

Системообразующий потенциал классической модели оказался достаточным для формирования глобальной компьютерной среды с гипертекстовым информационным пространством WWW. Но, как показано в работе [3], она в принципе не может оставаться основой для полномасштабной глобализации универсально программируемых вычислений.

Кризис классической аксиоматики проявился системными дисбалансами и на внутрикомпьютерном, и на межкомпьютерном уровнях. “Проявителем” кризиса стали две экспоненты роста — числа транзисторов на кристалле интегральной схемы (закон Мура) и числа компьютеров в Сети.

Внутрикомпьютерный кризис был идентифицирован к середине 1990-х гг. в трех системных компонентах проявления: структурное насыщение микропроцессорной архитектуры, функциональная диспропорция сложности программирования и, как следствие, исчерпание главного (интеллектуального) ресурса человечества [7].

Впоследствии были установлены [3, 8] системные диспропорции и на межкомпьютерном уровне. Они выразились в непрерывном воспроизводстве в глобальной компьютерной среде “ин-

формационного шума”. Его суть в чрезмерном и принципиально неустранимом разнообразии трудно совместимых форм представления компьютерной информации, которое явилось главной причиной разнородности глобального информационного пространства. Как уже говорилось, разнородность информационного пространства является непреодолимым (комбинаторная сложность) препятствием к глобальной интеграции данных, программ и систем.

Были установлены первопричины шума. В модели фон Неймана произвольные структуры данных формируются последовательностями (потоками) адресов к памяти (для чтения/записи элементов данных). Значения адресов в потоке задаются алгоритмическими предписаниями. Модель позволяет произвольным образом кодировать в потоках адресов произвольные структуры данных. Следовательно, в управлении машинным счетом на уровне потоков адресов имеются две степени свободы; обе они открыты программистам. По своему усмотрению они строят структуры данных и для каждой из них задают последовательности адресов доступа к памяти. Здесь и скрыты первопричины воспроизводства информационного шума — избыточного и трудно преодолимого при интеграции многоязычия в представлениях структурированной информации. Комбинаторная природа шума усредненно проявляется так: сложность интеграции растет квадратично от разнородности информационного пространства. Источник шума — программисты, на уровне постулатов получившие лицензию на самовыражение в воспроизводстве плохо совместимых структур данных. Инструмент — средства индустриального программирования. Среда накопления — глобальная Сеть.

С этих позиций понимания пределов возможного классической компьютерной аксиоматики становится ясно, что одной из веских причин компьютерного кризиса стало отсутствие определения области ее применимости. Удивительно, что Дж. фон Нейман, будучи математиком, в момент создания модели не дал следующей “очевидной” формулировки: сферы применимости правил универсального счета данной модели охватывают ресурсы только каждого отдельного компьютера. Из нее следует:

- каждый компьютер универсален в своем информационном пространстве (локализованная универсальность);
- ничто не обязывает, чтобы информационные пространства разных компьютеров были однородны;
- на уровне аксиоматики межкомпьютерное информационное пространство никоим образом не регламентируется.

Три этих утверждения объясняют неадекватность классической модели требованиям глобальной компьютерной среды.

Для устранения первопричин кризиса требуется переход к парадигме математически однородного поля компьютерной информации. В данной работе предлагается подход к его формированию на основе исчисления древовидных структур. На рис. 1 (см. цветную вклейку) приведен пример компьютерной реализации исчисления древовидных структур, реализованного в языке программирования Парсек [5].

4. СОЦИАЛЬНЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ ОБЩЕКМПЬЮТЕРНОГО КРИЗИСА

Стихийное накопление гипертекста в WWW завершилось кризисом перепроизводства информации, непригодной к автоматической переработке. Информационное переполнение увеличивает неустойчивость социальной среды. Накопленные в результате несбалансированной глобализации информационного пространства противоречия уже привели к заметным последствиям на мировом рынке.

Мировой рынок, управляемый миллионами инвесторов, — очень чуткий, многоопытный и адаптивный институт, нацеленный на правильное прогнозирование событий.

В отсутствие другого опыта, инвесторы в своих прогнозах в качестве меры компьютерного прогресса выбрали привычные числовые данные: темпы роста характеристик микропроцессоров, памяти, средств связи, объемов продажи аппаратных и программных средств, масштабы и темпы роста WWW. К середине 1990-х гг. убедились, что динамика роста этих параметров в предшествующем пятилетнем периоде была экспоненциальна. Она была экстраполирована в экспоненциальный рост прибыли.

В секторы информационно компьютерных технологий (ИКТ), в особенности, связанные с WWW, направились серьезные финансовые потоки. Панораму событий показывает график индекса Nasdaq, приведенный¹ на рис. 2 (см. цветную вклейку).

Многие и многие тысячи инвесторов, “разогретье” к середине 1990-х гг. масштабами и темпами глобализации WWW, направили колоссальные капиталы в секторы ИКТ. В период 1997—2000 гг. индекс Nasdaq откликнулся сверхбыстрым, более чем четырехкратным ростом. Но период 2000—2002 гг. принес не дивиденды, а затяжной финансовый облом: завышенные ожидания инвесторов обернулись для ИКТ столь же быстрым оттоком

¹ Воспроизведен с <http://stock.rbc.ru/demo/index.0/daily/NASD.rus.shtml?show=all>.



капиталов и трехкратным снижением инвестиционной активности. Судя по графику, доверие инвесторов до сих пор не восстановлено. Сейчас, спустя 4—5 лет после начала кризиса в 2000 г., индекс уже много месяцев неоднократно пытается, но никак не превысит уровня 1998 г., с которого только начинались ажиотажные инвестиции, чтобы за два года увеличиться в несколько раз.

Впервые компьютерная революция в таких масштабах обманула ожидания многочисленных инвесторов. Почему это произошло?

Многие причины провалов новых бизнес-проектов сводимы к четырем причинам: злой умысел, плохое планирование и управление, внезапная утрата требуемых ресурсов, непредумышленные ошибки в прогнозах рентабельности.

Будем полагать, что в рассматриваемом случае ожидаемая прибыль не была получена по причине “непредумышленных ошибок в прогнозах”. Случайные ошибки в прогнозах исключим, поскольку слишком многие умудренные опытом инвесторы пошли на этот дорогостоящий шаг на основе тщательных расчетов, применяя, думается, все известные и проверенные практикой методы прогнозирования рисков. Неслучайной причиной непредумышленной ошибки принятия одинакового решения сразу многими цивилизованными инвесторами может быть только неполнота исходной информации, которая объяснима принципиальной новизной и скрытостью неучтенных, но весьма существенных факторов.

Оказалось, что неучтенные факторы “затаились” на уровне компьютерной аксиоматики и поэтому имеют фундаментальный характер. Их скрытость объяснима тем, что они стали набирать силу и проявлять себя только по мере роста других, более очевидных числовых показателей, таких как степень интеграции интегральных схем (число транзисторов на кристалле), число взаимосвязанных компьютеров в глобальной сети, темпов роста масштабов глобальной компьютерной среды и численности ее постоянных пользователей. Эти параметры никоим образом не отражали ни степени разнородности форм представления компьютерной информации, ни характера решаемых задач компьютерной средой в целом, которые, в конце концов, и сыграли роль “злой шутки”.

Использованные в прогнозах параметры не отражали всех скрытых тенденций, сопровождавших компьютерный прогресс. Во-первых, они не касались системных свойств компьютерной среды в целом. Во-вторых, прогресс характеристик компонентов компьютерной среды необоснованно отождествлялся с прогрессом потребительских функций, которые, в конечном счете, дают финансовую отдачу.

Фундаментальная и вовремя нераспознанная причина кризиса в том, что потребительские функции, которые дают отдачу при исполнении в отдельном компьютере или в локальной сети принципиально отличаются от потребительских функций, которые могут и должны эффективно решаться в глобальной компьютерной среде. Первые решают локальные задачи, вторые должны решать глобальные задачи. Как уже отмечалось, *фундаментальное свойство глобальных задач в том, что они в принципе не сводимы к конечным множествам локальных.*

Человечество ранее не сталкивалось с глобальными задачами. Вкладывая средства в глобальную компьютерную среду, инвесторы изначально не могли определить те глобальные потребительские функции, которые должна выполнять компьютерная среда в целом. Полученные ИКТ средства “перетекли” в локальные задачи. В глобальной компьютерной среде локальные задачи не оказались в достаточной мере востребованными, чтобы принести прибыль.

Выводы из полученного урока. По другому быть не могло. Законы рынка не могут отменить действия фундаментальных законов. Незнание фундаментальных законов не освобождает от ответственности за их нарушение.

5. МАТЕМАТИЧЕСКИ ОДНОРОДНОЕ ПОЛЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФОРМАЦИИ В МОДЕЛИ ИСЧИСЛЕНИЯ ДРЕВОВИДНЫХ СТРУКТУР

На рис. 3 (см. цветную вклейку) приведена “родословная” модели вычислений на основе исчисления древовидных структур, названной Parseq-машиной. Показаны отличительные признаки от предшествующих моделей и вертикаль развития.

В качестве исходной для построения новой модели вычислений взята классическая аксиоматика Дж. фон Неймана [6] (N-машина), которая в свое время стала логическим расширением абстрактной машины Тьюринга на вычислительные ресурсы реальных компьютеров. По сути, классическая компьютерная модель стала проекцией общей парадигмы управления на вычислительные ресурсы. Она представляет собой алгоритм управления вычислительными ресурсами, который обеспечивает автоматическое воплощение универсально программируемых вычислений.

Рассмотрим основные понятия, связанные с моделью фон Неймана [6]. Компьютерная информация в этой модели представляет собой множество конечных двоичных строк (линейных отрезков) в общем случае различных размеров. Вычислительные ресурсы в этой модели — память с

произвольно адресуемыми ячейками, арифметический блок, блоки управления и ввода-вывода.

Двоичные строки представляют как данные, так и программы. Действия со строками-данными — произвольно адресуемый доступ к компонентам (подстрокам) по чтению-записи, арифметико-логические преобразования значений выделенных подстрок. Правила композиции структуры между строками — произвольные связи (ссылки) между любым количеством строк-отрезков. Строка-программа — это особый участок в памяти, в котором хранится строка-отрезок с линейно упорядоченной последовательностью подстрок, интерпретируемых как команды. Память программ управляется счетчиком команд, который вычисляет адреса перехода к следующей команде: либо к соседней по расположению (приращение адреса равно +1), либо по дальнему адресу (приращение — целое число со знаком, отличное от 0 и +1).

В N-машине в местах приложения управляющих действий к вычислительным ресурсам задаются адреса доступа к памяти и режимы чтения-записи, код операций и режимы ввода-вывода.

Классический универсальный счет реализуется по правилам процедурного программирования посредством явного предписания очередности следующих действий: начальная загрузка программы и данных в память, чтение очередной команды по счетчику команд, исполнение команды с чтением операндов и записью результата, модификация счетчика команд, переход к следующей команде, завершение. Хорошо известно, что семантика процедурных программ определяется явным предписанием очередности исполнения действий в вычислительных ресурсах, установление которой возложено на программиста.

Сфера применимости классической аксиоматики — локальные ресурсы изолированного универсального компьютера.

Познакомимся с особенностями Parseq-машины, представляющей собой модель исчисления древовидных структур.

Компьютерная информация в этой модели — множество конечных двоичных деревьев произвольных конфигураций и размеров. В вершинах деревьев — двоичные строки (линейные отрезки), наследуемые от N-машины. Действия со строками те же — произвольно адресуемый доступ к компонентам по чтению-записи.

Принципиальное отличие состоит в правилах композиции строк-отрезков. Вместо произвольных связей между произвольным числом строк правила соединения вершин в двоичном дереве *ограничивают* число соседних вершин не более трех. В нотациях это связи (адресные ссылки) *prev*, *next*, *deer* между строками-отрезками [5].

Как данные, так и программы в Parseq-машине представлены древовидными структурами и только ими (см. рис. 1). При этом принципы процедурного управления универсальным счетом классической модели в новой модели сохранены. С ограничением структур данных и программ только двоичными деревьями изменяются лишь места приложения управляющих действий, которые теперь определены не на инженерном уровне машинных ресурсов, а на древовидных структурах, представляющих собой математически замкнутый объект.

В Parseq-машине машинные ресурсы принципиально отделены от программистов математически точными и ясными манипуляциями с древовидными структурами, которые фактически составляют систему команд Parseq-машины. При аппаратной реализации Parseq-машины отображение исчисления древовидных структур на внутренние машинные ресурсы и ресурсы всех связанных сетями компьютеров осуществляется автоматически на архитектурном уровне аппаратных средств.

Исчисление древовидных структур фактически изолирует программиста от каких-либо управляющих воздействий на уровнях машинных ресурсов. Места приложения управляющих действий привязаны только к элементам древовидных структур — вершинам и связям между вершинами. Идентификация этих мест осуществляется программистом с помощью курсорных переменных, которые могут определяться в любом требуемом количестве [5]. Базис управления вычислениями — универсальный набор действий над курсорными переменными, обеспечивающий произвольные преобразования древовидных структур [5].

Parseq-машина построена путем минимальной модификации модели фон-Неймана посредством ее логического усиления, которое вводит математический регламент представления структурированной компьютерной информации в виде функционально замкнутого исчисления древовидных структур. В результате:

- сохранен процедурный механизм управления универсальным счетом классической модели, доказавший свое преимущество в массовом производстве компьютеров и программ как самый простой в машинной реализации;
- путем запрета на “лишние” связи изменено только информационное поле действия (данные, программы) процедурного управляющего механизма; этот запрет не вносит новых правил организации данных в модель универсальных вычислений, поскольку является лишь дополнительным ограничением допустимых к применению;



- благодаря математической замкнутости и функциональной полноте исчисления древовидных структур сохранена универсальность.

Таким образом, изменения классической модели минимальны и сконцентрированы только в точечных местах приложения управляющих воздействий (в базовом механизме управления автоматическим счетом) и не затрагивают остальных компонентов классической модели универсальных вычислений.

Выделим важное свойство. Благодаря уникальным свойствам деревьев (удаление любого ребра нарушает связность) *математически однородное поле компьютерной информации в модели исчисления древовидных структур обладает неулучшаемым свойством минимальной структурной сложности.*

Перечислим особенности языка программирования Парсек (см. рис. 1) [5], в котором впервые в классе процедурных языков реализована математически замкнутая модель исчисления древовидных структур:

- данные и программы — древовидные структуры, ничего кроме них;
- исчисление деревьев — математически замкнутые и функционально полные правила преобразования деревьев;
- автоматическое управление машинными ресурсами;
- сочетание процедурного стиля с автоматическим управлением машинными ресурсами.

В истории развития процедурных языков программирования ограничение на допустимые связи между информационными компонентами впервые было апробировано при индустриальном становлении стиля “структурного программирования” (1970—1980-е гг.). Этот стиль запретил бесконтрольное применение в программах произвольных переходов “go to”. При этом универсальность была сохранена без заметных потерь в эффективности. Тогда этот шаг обеспечил формирование рынка программ, позволив придать программам свойства товара. (Программы стали в достаточной степени “читабельными” и переносимыми).

Сейчас, благодаря глобальному информационному пространству, особое рыночное значение обретают и формы представления данных. Разрабатываются специальные языки представления данных в форме древовидных образований. Наиболее известен язык XML, который позиционирован как стандарт строго организованного представления данных в Сети. Однако он не является универсальным языком программирования. Обработка данных, представляемых в XML, осуществляется в различных языках программирования по-разному.

В языке Парсек, первые версии которого работали еще до появления XML, запрет на произволь-

ные связи изначально распространен не только на программы, но и на данные. В исчислении древовидных структур и программы, и данные представляются в едином поле древовидных структур. Парсек позволяет работать со строго организованной компьютерной информацией единообразно, как на внутреннем, так и на внешних уровнях. Многочисленные преобразования разнородных промежуточных форматов представления данных исключаются.

В математически однородном поле исчисления древовидных структур компьютеры обретают единое и математически замкнутое представление программ и данных. Комбинаторное сопротивление интеграции устраняется вместе с разнородностью форм представления компьютерной информации.

В глобальной компьютерной среде самым массовым “товаром” стали не только программы, но и данные. Поэтому предельное упрощение и математически строгая унификация форм представления компьютерной информации (данных и программ) крайне важны для развития компьютерной среды.

6. К ЕДИНОЙ АКСИОМАТИКЕ

Классическая компьютерная аксиоматика является специальной формой (проекцией) парадигмы управления на системы особого класса — компьютеры. Она определила состав действий и правила управления универсальными вычислениями.

Математически однородное поле открывает возможности осуществления всей цепи решения структурно сложных задач от постановки до компьютерного воплощения в едином, математически ясном формализме, “понятном” глобальной компьютерной среде без посредников-программистов.

Ключом к решению проблемы глобализации парадигмы управления в математически однородном поле должен стать единый язык решения разнобразных задач управления. В качестве прототипа такого языка можно рассматривать формализм работы со структурами в системах с управлением, предложенный в основах графодинамики М. А. Айзерманом [9, 10].

Суть графодинамики в следующем. Текущее состояние, внешние воздействия и реакции динамических систем представляются графами. Развитие событий во времени — динамика — связывается не с перемещениями по графам, а с изменением их структуры. Правила изменения структур задаются функциями над графами. Эти изменения могут быть либо автономными, либо вызваны внешними для системы воздействиями. В результате возни-

кают процессы, в ходе которых графы могут изменять и состав вершин, и структуры связей. В графодинамике рассмотрены основные виды постановок задач управления.

Принципы графодинамики следует рассматривать как основу единого формально строгого языка решения задач управления, который может использоваться на всех уровнях — от теорий построения и исследования моделей до их идентификации и компьютерных воплощений.

Графодинамика до сих пор не имела развития. Это, как нам представляется, вполне объяснимо доминированием принципа презумпции локальности. Единого формализма для решения локализуемых задач не требовалось. Переход к презумпции глобальности задач управления начинается, прежде всего, с единого языка решения различных задач управления. Графодинамика — замечательный пример опережающих возможностей фундаментальной науки. Она дает методологическую основу преодоления кризиса презумпции локальности и решения проблем глобализации парадигмы управления.

Сравним формализм графодинамики с компьютерным исчислением древовидных структур, предложенным и исследованным в работах [5, 8] и реализованным в универсальном языке программирования Парсек [5].

Первое и существенное различие в том, что графодинамика в своем общем случае ориентируется на графы общего вида. Приведенные в работах [9, 10] при изложении принципов графодинамики примеры деревьев предлагались лишь для простоты рассмотрения, в то время как модель, положенная в основу языка Парсек, обеспечивает универсальность посредством работы во множестве древовидных структур и только в нем. Это логически существенное различие (усиление) ведет к кардинальному упрощению компьютерной реализации исчисления структур без потери универсальности.

Для представления структур в графодинамике использовались нумерующие функции, которые неудобны для практического применения в компьютерных реализациях. Система программирования Парсек с достаточной эффективностью реализована в ресурсах изолированного компьютера. В настоящее время разрабатываются средства эмуляции Парсек в ресурсах компьютеров, связанных сетями [8, 11]. Тем самым формируется инструментальная основа для формирования математически однородного поля компьютерной информации в ресурсах глобальной компьютерной среды и программирования глобально распределенных задач [12, 13].

Динамика “дипольной” метасистемы [1, рис. 2] представлена системой выражений (1) в работе [1]. В математически однородном поле компьютерной

информации все значения переменных системы выражений определяются на глобальной древовидной структуре, общей для всех задач. Эта глобальная структура становится единым носителем математически однородного поля информации в компьютерной среде. При этом упомянутая система выражений (1) представляет собой универсальную методологическую основу для формулировок и решения глобальных задач управления в социометасистеме. Конкретные глобальные задачи могут формулироваться посредством детального доопределения состава множеств-областей переменных, структуры переменных и функций над этими переменными. В принципе, эти действия носят математический характер, что позволит существенно сокращать расходы времени и средств на программирование глобальных задач.

Взаимно дополняя друг друга, графодинамика и система программирования Парсек открывают пути для исследования конструктивных подходов глобализации парадигмы управления в математически однородном поле компьютерной информации.

7. ОБ АРХИТЕКТУРЕ СОЦИОМЕТАСИСТЕМЫ

Природа задач управления такова, что наиболее интенсивные потоки информации замкнуты в объектах и контурах автоматического управления. Объемы и интенсивность потоков информации, которая выводится на людей, участвующих в процессах управления, по возможности, минимизируется. Поэтому задачи управления, требующие реализаций в реальном времени, играют особую роль в преодолении кризиса перепроизводства в глобальной сети информации, непригодной для автоматической переработки.

Глобализация парадигмы управления позволяет сформировать в математически однородном поле компьютерной информации единое функциональное пространство со встроенным универсальным базисом решения глобально распределенных задач управления, необходимых для саморегулирования и самоорганизации социосистемы. При этом компьютерная среда, оставаясь распределенной, обретает структурную и функциональную целостность, которая может быть представлена в виде глобального управляющего компьютера, архитектура которого схематически представлена на рис. 4 (см. цветную вклейку). По сути, это архитектура всей социометасистемы.

Глобальный контур управления охватывает социальный, компьютерный и интеллектуальный компоненты. Множественные потоки информации асинхронных, в основном, децентрализованных и автоматических процессов управления, работают через глобальный массовый контур, обеспечиваю-



щий в реальном времени сбор информации о текущем состоянии социометасистемы, переработку и выработку управляющих воздействий, а также их доставку к местам воздействия и исполнение.

Важный аспект в этой архитектуре отводится интеллекту (сознанию) социальной среды. Глобальная компьютерная среда сможет охватить социальную среду и ее интеллект универсальным контуром управления только с обретением в математически однородном поле компьютерной информации свойства универсальной программируемости.

Общие аспекты построения и программирования глобального компьютера в математически однородном поле компьютерной информации рассмотрены также в работах [12, 13].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Качественно новый этап развития социосистемы состоит в ее глобальной кибернетизации. Это беспрецедентная и по масштабам, и по сложности проблема. Она чрезвычайно наукоемка, поэтому не может быть решена стихийно. Для ее своевременного и безопасного решения требуется тесное взаимодействие многих наук. На начальных этапах первый импульс к ее решению должны дать наука об управлении и компьютерные науки. Они должны выработать методологические и теоретические предпосылки математически исчерпывающего решения кардинально новых проблем управления, возникающих с глобализацией информационного пространства.

Компьютерная среда открывает возможности воплощения разнообразных и сколь угодно больших глобально распределенных систем управления в едином функциональном пространстве. Но для освоения этих возможностей необходимо преодолеть методологический кризис в решении задач управления, который связан с переходом от локальных задач к глобальным. Этот кризис проявляется на уровне математических методов решения задач и построения моделей управления, на уровне идентификации теоретических моделей, а также на уровнях практической реализации систем управления в глобальной компьютерной среде.

Первый шаг на пути преодоления методологического кризиса на всех этих уровнях связан с компьютерной глобализацией парадигмы управления.

Проблема смены начальной установки в подходах к решению задач управления с локальных на глобальные не столь драматична, как это может показаться. Методологически и математически дело сводится к рассмотрению множества всех задач управления в социометасистеме как единой мета-

задачи. Логических пустот для возведения мостов для этого перехода в науке об управлении нет. Скорее всего, проблема перехода имеет не столько смысловой математический, сколько формально языковой характер. Речь идет о формировании единого языка решения задач управления в социометасистеме и его воплощении в глобальной компьютерной среде.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Затуливетер Ю. С.* Проблемы глобализации парадигмы управления в математически однородном поле компьютерной информации. Ч. I. Кибернетизация социосистемы // Проблемы управления. — 2005. — № 1. С. 2–10. (www.ipu.ru/period/ru).
2. *Затуливетер Ю. С.* Информационная природа социальных перемен. — М.: Синтег, 2001. — 132 с. (<http://zvt.hotbox.ru/book.htm>).
3. *Затуливетер Ю. С.* Информация и эволюционное моделирование // Труды междунар. конф. “Идентификация систем и задачи управления”, SICPRO’2000, Москва, 26–28 сентября 2000 г. ИПУ РАН. — М., 2000. — С. 1529–1573. (http://zvt.hotbox.ru/1529_.htm).
4. *Винер Н.* Кибернетика или управление и связь в животном и машине. — М.: Наука, 1983. — 166 с.
5. *Затуливетер Ю. С., Халатян Т. Г.* ПАРСЕК — язык компьютерного исчисления древовидных структур с открытой интерпретацией. Стеновый вариант системы программирования. — М.: Ин-т пробл. управления РАН, 1997. — 71 с.
6. *Беркс А., Голдстейн Г., Нейман Дж.* Предварительное рассмотрение логической конструкции электронного вычислительного устройства // Кибернетический сборник. — 1964. — Вып. 9. — С. 7–67.
7. *Затуливетер Ю. С.* Компьютерные архитектуры: неожиданные повороты // HARD’n’SOFT. — 1996. — С. 89–94.
8. *Затуливетер Ю. С.* Компьютерная информация в модели исчисления древовидных структур // Труды Второй междунар. конф. “Идентификация систем и задачи управления”, SICPRO’2003, Москва, 29–31 января 2003 г., ИПУ РАН. — М., 2003. — С. 790–858.
9. *Айзерман М. А., Гусев Л. А., Петров С. В., Смирнова И. М.* Динамический подход к анализу структур, описываемых графами (Основы графодинамики). I // Автоматика и телемеханика. — 1977. — № 7. — С. 135–151.
10. *Айзерман М. А., Гусев Л. А., Петров С. В., Смирнова И. М.* Динамический подход к анализу структур, описываемых графами (Основы графодинамики). II // Автоматика и телемеханика. — 1977. — № 9. — С. 123–136.
11. *Затуливетер Ю. С., Топорищев А. В.* Язык Парсек: разработка функций для программирования глобально-распределенных вычислений в математически однородном поле компьютерной информации // Труды II междунар. конф. “Параллельные вычисления и задачи управления”, РАСО’2004, 4–6 октября 2004 г., Москва, ИПУ РАН. — М., 2004. С. 425–443.
12. *Затуливетер Ю. С.* На пути к глобальному программированию // Открытые системы. — 2003. — № 3. — С. 46–47. (<http://www.osp.ru/os/2003/03/046.htm>).
13. *Затуливетер Ю. С.* К глобальному компьютеру // Труды всеросс. научн. конф. “Научный сервис в сети Интернет” (22–27 сентября 2003 г., г. Новороссийск). — М.: МГУ, 2003. — С. 186–189.

☎ (095) 334-92-09

E-mail: zvt@ipu.rssi.ru



ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПОРЯДКА НЕСТАЦИОНАРНЫХ ОБЪЕКТОВ МЕТОДОМ ТЕСТОВЫХ СИГНАЛОВ¹

А. А. Ромащев, Ю. И. Арсфьев

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

Предложена процедура идентификации порядка нестационарных линейных объектов методом тестовых сигналов — сначала определяется порядок левой части, а затем порядок правой части уравнения объекта. Рассмотрены вопросы уменьшения влияния помех.

ВВЕДЕНИЕ

В работах [1, 2] предложены и исследованы методы помехоустойчивого оценивания параметров уравнений нестационарных линейных объектов дискретного действия в предположении, что порядок объекта известен (задан). Вместе с тем, на практике часто порядок объекта заранее не известен, что характерно, например, при идентификации объектов типа “черного ящика”. Ранее был предложен достаточно эффективные и легко реализуемые способы оценивания порядка модели стационарных объектов [3, 4], в том числе и методом тестовых сигналов (ТС) [5]. Однако в случае нестационарных объектов оценивание порядка модели требует специального исследования.

В настоящей работе сделана попытка развития теории помехоустойчивого оценивания порядка объектов методом ТС, применимой и к нестационарным объектам.

1. ОБЩИЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Придерживаясь терминологии и обозначений, принятых в работах [1, 2], будем исследовать линейные нестационарные объекты дискретного действия (далее — просто объекты). Рассмотрим некоторый объект и обозначим через $x(t)$ и $y^*(t)$ функции, описывающие, соответственно, наблюдаемые сигналы на его входе и выходе, где $t = 0, 1, 2, \dots$ — дискретное безразмерное время, связан-

ное с реальным t_p соотношением $t_p = t\Delta t$, Δt — интервал дискретизации.

Будем предполагать, что помехи приложены к выходу объекта, поскольку этот случай наиболее характерен при практической реализации метода идентификации с помощью ТС, и наблюдаемое значение выходной переменной объекта описывать аддитивной моделью

$$y^*(t) = y(t) + \xi(t), \quad (1)$$

где $y(t)$ — детерминированная функция, описывающая реакцию объекта на входной сигнал $x(t)$ в отсутствие помех, $\xi(t)$ — характеризующая помехи случайная функция с нулевым математическим ожиданием (м. о.) и ограниченной дисперсией. Далее предполагается, что начало отсчета времени t совпадает с началом отсчета времени наблюдения.

Если функция $y(t)$ удовлетворяет линейному разностному неоднородному уравнению порядка n с переменными коэффициентами $A_0^1(t), \dots, A_n^1(t), \dots, a_0^1(t), \dots, a_m^1(t)$ вида

$$\sum_{i=0}^n A_i^1(t)y(t-i) = \sum_{j=0}^m a_j^1(t)x(t-j), \quad (2)$$

причем $A_0^1(t) \neq 0, A_n^1(t) \neq 0, a_0^1(t) \neq 0, a_m^1(t) \neq 0$ при всех t , то будем говорить, что объект является нестационарным линейным объектом порядка (n, m) . Величины n и m будем называть, соответственно, порядками *левой* и *правой* частей уравнения объекта. Далее без ограничения общности будем считать, что уравнение (2) объекта приведено к виду

$$y(t) = \sum_{j=0}^m a_j(t)x(t-j) - \sum_{i=0}^n A_i(t)y(t-i). \quad (3)$$

¹ Работа доложена на III Международной конференции “Идентификация систем и задачи управления” SICPRO’04, Москва, 2004.



Предположим, что задан некоторый класс функций с неизвестными параметрами, описывающих коэффициенты уравнения (3). Ограничимся, как и в работах [1, 2], двумя классами функций: классом линейных и классом экспоненциальных (показательных) функций. Во многих практических случаях подобные функции характеризуют дрейф параметров нестационарных объектов.

Для первого и второго классов функций при описании моделей коэффициентов уравнения (3) будем пользоваться, соответственно, соотношениями:

$$\begin{cases} A_i(t) = b_i^0 + k_i t, i = 1, \dots, n \\ a_j(t) = c_j^0 + l_j t, j = 0, 1, \dots, m, \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} A_i(t) = R_i^0 r_i^{-t}, i = 1, \dots, n, r_i > 0 \\ a_j(t) = Q_j^0 q_j^{-t}, j = 0, 1, \dots, m, q_j > 0, \end{cases} \quad (5)$$

где $b_i^0, k_i, c_j^0, l_j, R_i^0, r_i, Q_j^0, q_j$ — постоянные параметры моделей.

Модели (4) и (5) как частный случай включают в себя модели коэффициентов стационарных объектов, так как при $k_i = l_j = 0$ и $r_i = q_j = 1$ функции $A_i(t), a_j(t), i = 1, \dots, n; j = 0, 1, \dots, m$, являются постоянными величинами.

2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПОРЯДКА ОБЪЕКТА

Пусть порядок (n, m) объекта неизвестен. Предположим, что доступными для измерений являются сигналы $x(t)$ и $y^*(t)$, соответственно, на входе и выходе объекта при $t = t_n, t_n + 1, t_n + 2, \dots$, где t_n — начальный момент. Будем считать, что $y^*(t)$ определяется в соответствии с принятой моделью (1). Поставим задачу следующим образом: путем анализа выходной наблюдаемой величины $y^*(t)$ при известных значениях входного сигнала $x(t)$ найти статистически достоверную оценку (n^*, m^*) порядка (n, m) объекта. Эту задачу будем решать методом ТС в два этапа. На первом этапе определим оценку n^* величины n , а на втором этапе с учетом полученной оценки n^* найдем оценку m^* величины m .

Допустим, что значения входного сигнала $x(t)$ и соответствующие значения выходного сигнала $y^*(t)$ объекта известны (измерены) в моменты времени $t \geq t_n + s, s = 0, 1, 2, \dots$. Принимая за начало наблюдения момент t_n , будем исследовать объект в моменты времени $s = t - t_n, s = 0, 1, 2, \dots$. При этом $x(t) = x(t_n + s), y^*(t) = y^*(t_n + s)$. Обозначим

$$\begin{cases} x_H(s) = x(t_n + s), \\ y_H^*(s) = y^*(t_n + s), s = 0, 1, \dots \end{cases} \quad (6)$$

Для упрощения записи при использовании новой переменной s , соответствующей сдвигу начала отсчета времени t на величину t_n , будем опускать индекс “н” у переменных x, y, y^* и применять запись $x(s), y(s), y^*(s)$, имея, однако, всегда в виду равенства (6).

В пп. 2.1 и 2.2 будем предполагать, что помехи отсутствуют, т. е. $\xi(t) = 0$ и $y = y^*$. Определение порядка объекта при наличии помех рассматривается в § 3.

2.1. Определение порядка левой части уравнения объекта

Запишем уравнение объекта с учетом принятых соглашений (6) в виде

$$y(s) = \sum_{j=0}^m a_j(s)x(s-j) - \sum_{i=0}^n A_i(s)y(s-i), \quad s = 0, 1, \dots \quad (7)$$

Подадим в момент $s = 0$ на вход объекта *апериодический* тестовый сигнал $\gamma_\mu(s)$ [1, 5] порядка $\mu = 0$:

$$x(s) = \gamma_0(s) = k_0 \delta_0(s), \quad (8)$$

где k_0 — константа; $\delta_0(s) = 1$ при $s = 0, \delta_0(s) = 0$ при $s \neq 0$. В этом случае наблюдаемые значения $y(s)$ выходной переменной объекта, соответствующие его реакции на сигнал $\gamma_0(s)$ при $s = s_0 + 1, s_0 + 2, \dots$, где $s_0 = \max(n, m)$, будут, согласно уравнению (7), удовлетворять однородному разностному уравнению

$$y(s) + \sum_{i=0}^n A_i(s)y(s-i) = 0. \quad (9)$$

Для линейной модели (4) переменных коэффициентов уравнения объекта равенство (9) принимает вид

$$y(s) + \sum_{i=0}^n (b_i + k_i s)y(s-i) = 0 \quad (10)$$

или

$$y(s) + \sum_{i=0}^n b_i y_i(s-i) + \sum_{i=0}^n k_i s y(s-i) = 0, \quad s = s_0 + 1, s_0 + 2, \dots, \quad (11)$$

где $b_i = b_i^0 + k_i t_n, i = 1, \dots, n$.

Взяв значения (результаты измерений) $y(s), s > s_0$, удовлетворяющих уравнению n -го порядка (10), составим прямоугольную матрицу Y_{NL} размера $N \times L$, где $L \geq N$ (N — число столбцов, L — число строк),

$$N = 2n + 1, \quad (12)$$

вида

$$Y_{NL} = \begin{bmatrix} y(s) & y(s-1) & 1y(s-1) & \dots & y(s-n) & 1y(s-n) \\ y(s+1) & y(s) & 2y(s) & \dots & y(s-n+1) & 2y(s-n+1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y(s+L-1) & y(s+L-2) & Ly(s+L-2) & \dots & y(s-n+L-1) & Ly(s-n+L-1) \end{bmatrix} \quad (13)$$

Согласно уравнению (11), первый столбец матрицы Y_{NL} есть линейная комбинация всех остальных ее столбцов. Следовательно, определитель Δ_N порядка N , составленный из N любых попарно различных строк матрицы Y_{NL} , равен нулю.

Если из определителя Δ_N исключить последние два столбца и две строки, то получившийся определитель Δ_{N-2} порядка $N-2$ станет отличным от нуля, так как его первый столбец уже не будет линейной комбинацией остальных столбцов.

Очевидно, что в общем случае определители Δ_I порядка $I = 2i + 1$, $i = 1, 2, \dots$, построенные в соответствии со структурой матрицы (13), удовлетворяют следующим условиям:

$$\begin{cases} \Delta_I = 0, \text{ если } I \geq N \\ \Delta_I \neq 0, \text{ если } I < N, \end{cases} \quad (14)$$

где N определяется формулой (12).

Рассмотрим теперь случай, когда коэффициенты $A_i(t)$ описываются нелинейной моделью вида (5), т. е. $A_i(t) = R_i^0 r_i^{-t}$, $i = 1, \dots, n$. Линеаризуя эту модель по r_i в некоторой точке r_0 , получим:

$$A_i(t) \cong R_i^0 [r_0^{-t} - (r_i - r_0)tr_0^{-t-1}], \quad i = 1, \dots, n. \quad (15)$$

Поскольку величины r_i на практике *весьма* близки к единице, то рационально выбрать $r_0 = 1$. При этом из выражения (15) вытекает, что $A_i(t) \cong b'_i + k'_i t$, где $b'_i = R_i^0$, $k'_i = (1 - r_i)R_i^0$, $i = 1, \dots, n$. Следовательно, при $r_i \approx 1$ для ограниченного множества значений $y(s)$, $s = s_0 + 1, s_0 + 2, \dots, s_0 + S$ имеет место, согласно уравнению (11), приближенное равенство

$$y(s) + \sum_{i=0}^n b'_i y_i(s-i) + \sum_{i=0}^n k'_i s y_i(s-i) \approx 0, \quad s = s_0 + 1, s_0 + 2, \dots, S,$$

причем чем ближе r_i к единице, $i = 1, \dots, n$, тем больше может быть величина S .

Таким образом, и при нелинейной модели коэффициентов матрица Y_{NL} вида (13) обладает приближенно теми же свойствами, что и в случае линейной модели коэффициентов уравнения, а

определители Δ_I удовлетворяют приближенным условиям

$$\begin{cases} \Delta_I \approx 0, \text{ если } I \geq N \\ \Delta_I \neq 0, \text{ если } I < N. \end{cases} \quad (16)$$

Условиями (14) или (16) можно воспользоваться для определения порядка n левой части уравнения объекта и при линейной, и при нелинейной моделях коэффициентов в соответствии с правилом:

Если при некотором i соответствующие определители $\Delta_{2i+1} \cong 0$, $\Delta_{2i-1} \approx 0$, то порядок $n = i$.

2.2. Определение порядка правой части уравнения объекта

Подход, аналогичный рассмотренному, может быть применен для определения порядка m правой части уравнения (2) объекта.

Запишем уравнение (7) объекта следующим образом:

$$y(s) + \sum_{i=0}^n A_i(s)y(s-i) - \sum_{j=0}^m a_j(s)x(s-j) = 0, \quad s = 0, 1, \dots \quad (17)$$

В случае линейной модели (4) коэффициентов $A_i(s)$ и $a_j(s)$ уравнение (17) принимает вид

$$y(s) + \sum_{i=0}^n b_i y_i(s-i) + \sum_{i=0}^n k_i s y_i(s-i) - \sum_{j=0}^m c_j x(s-j) - \sum_{j=0}^m l_j s x(s-j) = 0, \quad (18)$$

где

$$\begin{cases} b_i = b_i^0 + k_i t_H, \quad i = 1, \dots, n \\ c_j = c_j^0 + l_j t_H, \quad j = 0, 1, \dots, m. \end{cases}$$

Предположим, что порядок n левой части уравнения известен, и требуется путем анализа известных (измеренных) значений реакции $y(s)$ объекта на заданный ТС $x(s)$, $s \geq s_0$, определить порядок m правой части уравнения, где $s_0 = \max(n, m)$.

Построим *расширенную* матрицу A_{PL} , воспользовавшись значениями $y(s)$ и $x(s)$ при $s \geq s_0$, по следующему правилу. Рассмотрим имеющие одинаковое число L строк матрицу Y_{NL} вида (13) и матрицу X_{ML} вида

$$X_{ML} = \begin{bmatrix} x(s) & 1x(s) & \dots & x(s-m) & 1x(s-m) \\ x(s+1) & 2x(s+1) & \dots & x(s-m+1) & 2x(s-m+1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x(s+L-1) & Lx(s+L-1) & \dots & x(s-m+L-1) & Lx(s-m+L-1) \end{bmatrix}, \quad (19)$$

число столбцов которой $M = 2(m+1)$.



Присоединим матрицу X_{ML} справа к матрице Y_{NL} . В результате получим расширенную матрицу A_{PL} размера $P \times L$ с числом столбцов

$$P = N + M = 2(n + m + 1) + 1, \quad (20)$$

которую символически запишем как

$$A_{PL} = [Y_{NL}, X_{ML}]. \quad (21)$$

Пример. Пусть $n = 1$ и $m = 0$. Тогда $P = 5$, и расширенная матрица размера $5 \times L$ имеет вид

$$A_{5 \times L} = \begin{bmatrix} y(s) & y(s-1) & 1y(s-1) & x(s) & 1x(s) \\ y(s+1) & y(s) & 2y(s) & x(s+1) & 2x(s+1) \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ y(s+L-1) & y(s+L-2) & Ly(s+L-2) & x(s+L-1) & Lx(s+L-1) \end{bmatrix},$$

где первые три столбца образуют матрицу $Y_{3, L}$, а последние два — матрицу $X_{2, L}$.

Замечание. В последующих рассуждениях будем предполагать, что соблюдается условие: векторы-столбцы $[x(s-v), x(s-v+1), \dots, x(s-v+L-1)]^T$, $v = 0, 1, \dots, m$, где T — знак транспонирования, при заданном L линейно независимы. Это условие всегда можно удовлетворить выбором соответствующего ТС.

Нетрудно заметить, что в случае линейной модели (4) коэффициентов $A_i(s)$ и $a_j(s)$ первый столбец матрицы A_{PL} вида (21) в силу уравнения (18) есть линейная комбинация всех остальных ее столбцов. Следовательно, определитель Δ'_P расширенной матрицы A_{PL} равен нулю.

Будем теперь изменять число столбцов матрицы A_{PL} , принадлежащих только матрице X_{ML} .

Рассуждая так же, как и в п. 2.1, приходим к выводу, что определители Δ'_j порядка $J = N + 2(j + 1)$, $j = 0, 1, \dots$, построенные в соответствии со структурой расширенной матрицы (21), удовлетворяют условиям:

$$\begin{cases} \Delta'_j = 0, & \text{если } J = P \\ \Delta'_j \neq 0, & \text{если } J < P, \end{cases} \quad (22)$$

где P определяется равенством (20).

Если коэффициенты $A_i(s)$ и $a_j(s)$ описываются нелинейной моделью (5), то условия (22) принимают форму

$$\begin{cases} \Delta'_j \approx 0, & \text{если } J = P \\ \Delta'_j \neq 0, & \text{если } J < P, \end{cases}$$

Таким образом, при известном порядке n левой части уравнения порядок m правой части уравнения объекта может быть определен в соответствии с правилом:

если при некотором j соответствующие определители $\Delta'_{N+2(j+1)} \cong 0$, $\Delta'_{N+2j} \neq 0$, где $N = 2n + 1$, то порядок $m = j$.

Рассмотренные правила определения порядков n и m левой и правой частей уравнения, как будет

показано в § 3, могут быть положены в основу алгоритма оценивания порядка (n, m) уравнения объекта и при наличии помех.

3. ОЦЕНИВАНИЕ ПОРЯДКА ОБЪЕКТА ПРИ НАЛИЧИИ ПОМЕХ

Рассмотрим метод, позволяющий при наличии помех получить статистически достоверную оценку (n^*, m^*) искомого порядка (n, m) объекта.

Вначале исследуем процедуру определения оценки n^* порядка n левой части уравнения объекта при воздействии на него ТС вида (8). Будем считать, что доступными для измерений на фоне помех являются значения y^* , описываемые моделью (1).

Определитель Δ_N , построенный с использованием первых N строк матрицы (13), при отсутствии помех является детерминированной функцией от $3n + 1$ значений величины y , а именно: $y(s-n), \dots, y(s-n+i), \dots, y(s-1), y(s), \dots, y(s+2n)$. Обозначим $y_i = y(s-n+i)$, $i = 0, 1, \dots, 3n$. Тогда

$$\Delta_N = \Delta_N(y_0, y_1, \dots, y_{3n}), \quad N = 2n + 1. \quad (23)$$

Например, при $n = 1$ значение $N = 3$, и определитель Δ_3 имеет вид:

$$\Delta_3 = \begin{vmatrix} y_1 & y_0 & 1y_0 \\ y_2 & y_1 & 2y_1 \\ y_3 & y_2 & 3y_2 \end{vmatrix} = \Delta_3(y_0, y_1, y_2, y_3).$$

При наличии помех элементы определителя (23) будут случайными величинами. Следовательно, определитель вида (23) будет также случайной величиной

$$\Delta_N^* = \Delta_N(y_0^*, y_1^*, \dots, y_l^*), \quad (24)$$

где $\Delta_N = \Delta_N(y_0, y_1, \dots, y_l)$ — детерминированная функция $l = 3n + 1$ переменных, вид которой можно установить путем раскрытия определителя Δ_N . В частности, при $n = 1$

$$\Delta_3 = y_0 y_1 y_3 - 2y_0 y_2^2 + y_1^2 y_2. \quad (25)$$

Принять по полученному значению Δ_I^* решение о том, что определитель $\Delta_I = 0$ или $\Delta_I \neq 0$, где $I = 2i + 1$, $i = 1, 2, \dots$, можно только в вероятностном смысле, например, методом проверки статистических гипотез [6]. Рассмотрим этот метод применительно к нашей задаче.

Допустим, что с использованием случайной последовательности y_k^* , $k = 0, 1, \dots$, вычислен определитель (случайная величина) Δ_I^* вида (24). Рассмотрим две альтернативные гипотезы H_0 и H_1 : гипотеза H_0 состоит в том, что неизвестное значение $\Delta_I = 0$, а гипотеза H_1 — в том, что $\Delta_I \neq 0$. Требуется по значению Δ_I^* принять или отклонить гипотезу H_0 .

Метод проверки статистических гипотез предполагает знание распределения (на практике — оценки распределения) случайной величины Δ_I^* . Будем предполагать, что помеха $\xi(t)$, имеющая, согласно модели (1), нулевое м. о. и конечную дисперсию σ_ξ^2 , распределена нормально. В указанных условиях случайная величина Δ_I^* будет распределена приблизительно нормально.

Обозначим через m_I и σ_I^2 , соответственно, м. о. и дисперсию случайной величины Δ_I^* , $I = 3, 5, \dots$. Пусть α — заданный уровень значимости (вероятность) отклонения гипотезы H_0 , $\beta_\alpha = \alpha \cdot 100\%$ — точка стандартного нормального распределения случайной величины β , определяемая вероятностным соотношением $P[\beta > \beta_\alpha] = \alpha$.

Введем пороговое значение $\Delta_{I\pi} = \beta_{\alpha/2} \sigma_I$ определителя Δ_I^* . Тогда, согласно методу проверки статистических гипотез [6], если

$$|\Delta_I^*| > \Delta_{I\pi}, \quad (26)$$

то гипотеза H_0 отклоняется как маловероятная при уровне значимости α и принимается гипотеза H_1 .

При $|\Delta_I^*| \leq \Delta_{I\pi}$ принимается гипотеза H_0 . При этом вероятность отклонения верной гипотезы (ошибки первого рода) равна α .

Применение решающего правила (26) предполагает знание численного значения величины σ_I или ее оценки σ_I^* . Определим значение дисперсии σ_I^2 как явную функцию от числовых характеристик описывающей помеху случайной последовательности ξ_k , $k = 0, 1, 2, \dots$, и элементов y_k определителя Δ_I .

При достаточно малой дисперсии последовательности ξ_k для нахождения величины σ_I^2 ($I = 2i + 1$; $i = 1, 2, \dots$) функцию вида (24) можно разложить в ряд Тейлора в окрестности точки $Y_I = (y_0, \dots, y_l)$, ограничиваясь линейным приближением. При этом

$$\Delta_I^* \approx \Delta_I + \sum_{p=0}^l C_{Ip} \xi_p, \quad (27)$$

где коэффициенты

$$C_{Ip} = \left. \frac{\partial \Delta_I}{\partial y_p} \right|_{Y_I}, \quad p = 0, 1, \dots, l. \quad (28)$$

Например, при $i = 1$ величина $I = 3$ и, согласно выражению (25), для четырехмерного вектора $\vec{C}_3^T = (C_{31}, \dots, C_{34})$, компонентами которого являются коэффициенты C_{Ip} вида (28), справедливо равенство

$$\vec{C}_3^T = (y_1 y_3 - 2y_2^2, y_0 y_3 + 2y_1 y_2, y_1^2 - 4y_0 y_2, y_0 y_1).$$

Обозначим через $K_{pq} = M[\xi_k \xi_q]$ корреляционные моменты величин ξ_k и ξ_q ($p, q = 0, 1, \dots, l$, где M — оператор м. о. При этом дисперсия σ_I^2 случайной величины Δ_I^* вида (27) определяется известной формулой

$$\sigma_I^2 = \sum_{p=0}^l C_{Ip}^2 \sigma_\xi^2 + 2 \sum_{p < q} C_{Ip} C_{Iq} K_{pq} = \vec{C}_I^T [K_{pq}] \vec{C}_I. \quad (29)$$

На практике для вычисления компонентов вектора \vec{C}_I используются полученные на фоне помех измерения y_0^*, y_1^*, \dots , представляющие собой, по существу, соответствующие оценки неизвестных величин y_0, y_1, \dots . Решающее правило (26) позволяет при заданном объеме $l + 1$ выборки y_0^*, \dots, y_l^* уменьшать вероятность α ошибки первого рода. Но при этом растет вероятность β принять неверную гипотезу (совершить ошибку второго рода). Уменьшить вероятность β при заданной вероятности α возможно лишь путем увеличения объема $l + 1$ выборки y_0^*, \dots, y_l^* .

Как показали исследования, существенное уменьшение ошибки второго рода может быть достигнуто, в частности, с помощью метода наименьших квадратов (МНК). При этом проверка гипотезы о равенстве нулю определителя Δ_I^* сводится к проверке гипотезы о равенстве нулю определителя $|B_I^*|$ квадратной и симметричной относительно главной диагонали матрицы B_I^* размера $I \times I$ вида

$$B_I^* = Y_{NL}^{*T} Y_{NL}^* = \begin{bmatrix} b_{11}^* & b_{12}^* & \dots & b_{1l}^* \\ b_{21}^* & b_{22}^* & \dots & b_{2l}^* \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_{l1}^* & b_{l2}^* & \dots & b_{ll}^* \end{bmatrix}, \quad b_{ij}^* = b_{ji}^*, \quad (30)$$

где $I = N = 2i + 1$, $L \geq 2i + 1$, $i = 1, 2, \dots$

Пример. Пусть $i = 1$; тогда $I = N = 3$, и матрица Y_{3L}^* согласно выражению (13) принимает вид:

$$Y_{3L}^* = \begin{bmatrix} y^*(s) & y^*(s-1) & 1y^*(s-1) \\ y^*(s+1) & y^*(s) & 2y^*(s) \\ \dots & \dots & \dots \\ y^*(s+L-1) & y^*(s+L-2) & Ly^*(s+L-2) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_1^* & y_0^* & 1y_0^* \\ y_2^* & y_1^* & 2y_1^* \\ \dots & \dots & \dots \\ y_L^* & y_{L-1}^* & Ly_{L-1}^* \end{bmatrix},$$



где

$$y_k^* = y^*(s - 1 + k), \quad k = 1, \dots, L.$$

Отличные друг от друга элементы матрицы B_3^* обозначим $z_j^*, j = 1, \dots, 6$. Тогда

$$B_3^* = \begin{bmatrix} z_1^* & z_2^* & z_3^* \\ z_2^* & z_4^* & z_5^* \\ z_3^* & z_5^* & z_6^* \end{bmatrix},$$

где, согласно выражению (30),

$$\begin{cases} z_1^* = b_{11}^* = \sum_{i=0}^{L-1} y_{i+1}^{*2}; & z_2^* = b_{12}^* = \sum_{i=0}^{L-1} y_i^* y_{i+1}^*; \\ z_3^* = b_{13}^* = \sum_{i=0}^{L-1} (i+1) y_i^* y_{i+1}^*; & z_4^* = b_{22}^* = \sum_{i=0}^{L-1} y_i^{*2}; \\ z_5^* = b_{23}^* = \sum_{i=0}^{L-1} (i+1) y_i^{*2}; & z_6^* = b_{33}^* = \sum_{i=0}^{L-1} (i+1)^2 y_i^{*2}. \end{cases} \quad (31)$$

Элементы z_k^* матрицы B_3^* в соответствии с моделью помех (1) могут быть представлены в виде суммы

$$z_k^* = z_k + \varepsilon_k, \quad k = 1, \dots, 6, \quad (32)$$

где z_k — величины, вычисляемые по формулам (31), в которых y_i^* заменены на y_i ; ε_k — аддитивная помеха. При этом согласно формуле (32), $\varepsilon_k = z_k^* - z_k$.

В частности,

$$\varepsilon_1 = \sum_{i=0}^{L-1} (y_{i+1}^{*2} - y_{i+1}^2) = \sum_{i=0}^{L-1} (2y_{i+1} \xi_{i+1} + \xi_{i+1}^2).$$

Пренебрегая величинами ξ_{i+1}^2 , получим приближенное равенство:

$$\varepsilon_1 \approx 2 \sum_{i=0}^{L-1} y_{i+1} \xi_{i+1} \approx 2 \sum_{i=0}^{L-1} y_{i+1}^* \xi_{i+1}.$$

Аналогично могут быть получены приближенные выражения для величин $\varepsilon_2, \dots, \varepsilon_6$, на основе которых можно определить приближенные значения корреляционных моментов $K_{pq} \approx M[\varepsilon_p \varepsilon_q]$, где $p, q = 1, \dots, 6$.

Обозначим корреляционную матрицу помех $[K_{pq}]$. Тогда дисперсия σ_3^2 определителя $|B_3^*|$ матрицы B_3^* может быть вычислена с учетом выражения (29) по формуле

$$\sigma_3^2 \approx \sum_{p=1}^6 \sum_{q=1}^6 C_{3p} C_{2q} K_{pq} = \vec{C}_3^T [K_{pq}] \vec{C}_3,$$

в которой компоненты вектора \vec{C}_3^T определяются соотношениями

$$\vec{C}_{3i} = \left. \frac{\partial |B_3^*|}{\partial z_i^*} \right|_{Z^*}, \quad i = 1, \dots, 6,$$

где $Z^* = (z_1^*, \dots, z_6^*)$.

Аналогичным образом может быть найдена оценка m^* порядка m правой части уравнения объекта. При этом достаточно проверить статистическую гипотезу о равенстве нулю определителя Δ_p^* , соответствующего расширенной матрице A_{pL}^* ($L \geq P$) вида (21). Для уменьшения влияния помех также можно применить МНК.

Анализ показывает, что для обеспечения линейной независимости столбцов матрицы X_{ML} вида (19), имеющей $M = 2(i + 1)$ столбцов, $i = 0, 1, 2, \dots$, достаточно выбрать квазипериодический тестовый сигнал $[1, 5] x(s) = u_\mu(s)$ порядка $\mu = 1$ с полупериодом t_0 , удовлетворяющим условию

$$i + 1 \leq t_0 \leq [L/2],$$

где $i \geq 1$, $[x]$ — целая часть x . При $i = 0$ величина t_0 может быть произвольной, т. е. $1 \leq t_0 \leq \infty$.

Моделирование на ЭВМ показало эффективность предложенного метода оценивания порядка (n, m) уравнения объекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ромашев А. А., Арефьев Ю. И. Применение тестовых сигналов для идентификации нестационарных объектов // Тр. II междунар. конф. "Идентификация систем и задачи управления" SICPRO'03. Москва, 29—31 янв. 2003 г. / Ин-т пробл. упр. — М., 2003. — С. 1587—1601.
2. Ромашев А. А., Арефьев Ю. И. Оценивание параметров уравнений нестационарных объектов методом тестовых сигналов // Тр. междунар. конф. "Параллельные вычисления и задачи управления" PACO'2001. Москва, 2—4 окт. 2001 г. Ин-т пробл. упр. — М., 2001. — С. 124—132.
3. Chow J. C. On estimating the orders of an autoregressive moving-average process with uncertain observations // IEEE Trans. Automat. Contr. — 1997. — Vol. AC-17, Oct. — P. 707—709.
4. Inagaki M. On estimating the orders of an autoregressive process // Ibid. — 1981. — Vol. AC-26, April. — P. 570—571.
5. Ромашев А. А. Разработка алгоритмов и синтез процедур идентификации объектов методом тестовых сигналов // Тр. междунар. конф. "Идентификация систем и задачи управления" SICPRO'2000". Москва, 26—28 сент. 2000 г. Ин-т пробл. упр. — М., 2000. — С. 1841—1911.
6. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. — М.: Мир, 1989. — 544 с.

E-mail: romashaa@ipu.rssi.ru



АДАПТИВНОЕ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПО ВЫХОДУ МНОГОСВЯЗНЫМИ ОБЪЕКТАМИ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ С НЕМИНИМАЛЬНОЙ РЕАЛИЗАЦИЕЙ ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ

Е. А. Паршева

Астраханский государственный технический университет

Рассмотрена задача построения адаптивной системы управления с эталонными моделями локальных подсистем для многосвязных объектов с запаздыванием по состоянию, когда измерению доступны только регулируемая переменная и скалярное управляющее воздействие. Обоснована работоспособность синтезированных систем управления при действии на объект управления неизмеряемых ограниченных возмущений. Для формирования управляющих воздействий взяты только измеряемые переменные локальных подсистем, т. е. осуществлено полностью децентрализованное управление.

ВВЕДЕНИЕ

Большое теоретическое и прикладное значение задачи децентрализованного управления объясняется стремлением разработчиков систем управления сложными многосвязными объектами построить локальные подсистемы без обмена информацией между ними [1–9]. Переход к системам с децентрализованной структурой обусловлен структурной и функциональной сложностью современных объектов автоматизации, включающих в себя набор взаимодействующих подсистем, имеющих большую размерность и рассредоточенных в пространстве. Модели объектов содержат нелинейности, запаздывания, характеризуются неопределенностью в описании и предъявляют жесткие требования к качеству управления. Кроме того, обновление технической базы систем управления, связанное с бурным прогрессом в технологии микропроцессорной техники и распределенной обработкой данных [10], и новые компьютерные технологии, основанные на мультипроцессорной архитектуре и параллельных конвейерных вычислениях, хорошо адаптированы к системам с децентрализо-

ванной структурой. При децентрализованном управлении общая задача управления декомпозируется на подзадачи, каждая из которых имеет меньшую размерность, что позволяет получить более качественные и надежные системы управления и значительно упростить структуру системы [2].

Проблема управления со скалярным входом-выходом стала одной из классических задач современной теории управления. В работе [11] был определен класс динамических моделей, для которых настройка параметров управляющего устройства может быть осуществлена без измерения производных входных и выходных сигналов. Передаточная функция этих моделей должна быть строго положительно-вещественной. Для систем стабилизации с неявной эталонной моделью аналогичный результат был получен в работе [12]. Дальнейшие работы исследователей были направлены на преодоление этого ограничения [13–22]; при этом для систем с явной эталонной моделью использовалась ее минимальная реализация.

В данной работе предлагается способ построения системы децентрализованного управления многосвязными объектами с запаздыванием по состоянию, позволяющий преодолеть ограничения



[11] и свести задачу синтеза алгоритмов настройки параметров локальных управляющих устройств к хорошо известным и изученным различными авторами. Принцип построения систем очень простой. Применяются два фильтра состояния на каждой локальной подсистеме, которые присутствуют во всех системах [2, 11–22]. Векторы состояния этих фильтров и скалярный выход подсистемы образуют вектор выхода объекта управления, и используется неминимальная реализация локальных эталонных моделей. В результате этих изменений получается обобщенный настраиваемый объект, для которого уже имеется много различных алгоритмов настройки параметров управляющего устройства.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим взаимосвязную систему, динамические процессы в локальных подсистемах которой описываются дифференциальными уравнениями с запаздывающим аргументом

$$Q_i(P)y_i(t) + k_{1i}D_i(P)y_i(t - \tau_i) = k_iR_i(P)u_i(t) + G_i(P)f_i(t) + \sum_{i=1, i \neq j}^k S_{ij}(P)y_j, \quad i = \overline{1, k}. \quad (1)$$

Здесь y_i, u_i — измеряемые скалярные выход и вход i -й локальной подсистемы; f_i — неизвестное ограниченное возмущающее воздействие; τ_i — неизвестное время запаздывания; $G_i(P), S_{ij}(P)$ — дифференциальные операторы с неизвестными постоянными коэффициентами; $Q_i(P), R_i(P), D_i(P)$ — нормированные линейные дифференциальные операторы с неизвестными постоянными коэффициентами, зависящими от вектора неизвестных параметров $\xi \in \Xi$, где Ξ — известное множество возможных значений вектора ξ ; $P = d/dt$ — оператор дифференцирования; k_i, k_{1i} — неизвестные коэффициенты; $\deg Q_i = n_i$; $\deg R_i = m_i$; $\deg D_i = n_{1i}$; $\deg G_i = n_{2i}$; $\deg S_{ij} = n_{ij}$.

Децентрализованное адаптивное управление для таких систем определяется как решение задачи построения таких k локальных блоков адаптивного управления, каждому из которых доступна только текущая информация о системе. Требуемое качество переходных процессов в подсистемах задается уравнениями локальных эталонных моделей

$$Q_{mi}(P)y_{mi}(t) = k_{mi}R_{mi}(P)r_i(t), \quad i = \overline{1, k}, \quad (2)$$

где $Q_{mi}(P)$ и $R_{mi}(P)$ — линейные дифференциальные операторы; $r_i(t)$ — скалярные ограниченные

задающие воздействия; k_{mi} — известный коэффициент.

Необходимо спроектировать систему управления, для которой будет выполнено условие

$$\overline{\lim}_{t \rightarrow \infty} |e_i(t)| = \overline{\lim}_{t \rightarrow \infty} |y_i(t) - y_{mi}(t)| < \delta. \quad (3)$$

Здесь δ — положительная величина, и желательно, чтобы ее можно было сделать достаточно малой. При этом в локальных подсистемах управления не допускается использования информации об измеряемых величинах других подсистем.

Сделаем следующие *предположения*.

А.1. Полиномы $R_i(\lambda), Q_{mi}(\lambda)$ и $R_{mi}(\lambda)$ — гурвицевы (λ — комплексная переменная преобразования Лапласа), причем операторы $Q_i(\lambda), R_i(\lambda), Q_{mi}(\lambda)$ и $R_{mi}(\lambda)$ нормированы, т. е. коэффициенты при старших производных равны единице.

А.2. Известны порядки полиномов n_i, m_i и относительная степень $n_i - m_i > 1$.

А.3. Ограниченные возмущающие $f_i(t)$ и задающие $r_i(t)$ воздействия имеют ограниченные производные $|f_i^{l_1}(t)| \leq \text{const}, l_1 = \overline{1, n_{2i}}; |r_i^{l_1}(t)| \leq \text{const}, l_2 = \overline{1, n_i}$.

А.4. Известен знак коэффициента k_i , будем считать, что $k_i > 0$.

А.5. Известно множество Ξ .

2. МЕТОД РЕШЕНИЯ

Введем два фильтра состояния на каждой локальной подсистеме, которые присутствуют во всех системах [11–22]:

$$\dot{\theta}_{yi} = F_i\theta_{yi} + b_{0i}y_i; \quad \dot{\theta}_{ui} = F_i\theta_{ui} + b_{0i}u_i, \quad (4)$$

где $\theta_{yi} \in R^{n_i-1}; \theta_{ui} \in R^{n_i-1}; F_i$ — гурвицева матрица в форме Фробениуса; $b_{0i} = [0, 0, \dots, 1]'$.

В отличие от традиционных способов выбора порядков полиномов $Q_{mi}(\lambda)$ и $R_{mi}(\lambda)$ в уравнениях (2), в данном случае они могут быть произвольными, если выполнены условия предположения А.3 и целевое условие задано в виде (3). Кроме того, в данном случае возьмем неминимальную реализацию локальных эталонных моделей, заданных уравнениями

$$y_{mi}(t) = \frac{k_{mi}}{P + a_{mi}} r_i(t); \quad \dot{\theta}_{1i} = F_i\theta_{1i} + b_{0i}; \quad \dot{\theta}_{2i} = F_i\theta_{2i}, \quad (5)$$

где $a_{mi} > 0$. Третье из уравнений (5) необходимо только для вычислений, а технически оно не реализуется. Составим уравнения ошибок, вычитая из уравнений (1) и (4) выражение (5):

$$e_i(t) = \frac{k_i R_i(P)}{Q_i(P)} \left[u_i(t) - \frac{k_{1i} D_i(P)}{k_i R_i(P)} y_i(t - \tau_i) + \frac{G_i(P)}{k_i R_i(P)} f_i(t) - \frac{k_{mi} Q_i(P)}{k_i R_i(P)(P + a_{mi})} r_i(t) + \sum_{j=1}^k \frac{S_{ij}(P)}{k_i R_i(P)} y_j \right],$$

$$\frac{d(\theta_{yi} - \theta_{1i})}{dt} = F_i(\theta_{yi} - \theta_{1i}) + b_{0i}(y_i - y_{mi}), \quad (6)$$

$$\frac{d(\theta_{ui} - \theta_{2i})}{dt} = F_i(\theta_{ui} - \theta_{2i}) + b_{0i} u_i.$$

Выделив в выражении $\frac{k_{mi} Q_i(P)}{k_i R_i(P)(P + a_{mi})}$ целую часть, получим

$$e_i(t) = \frac{k_i R_i(P)}{Q_i(P)} \left[u_i(t) - \frac{k_{1i} D_i(P)}{k_i R_i(P)} (e_i(t - \tau_i) + y_{mi}(t - \tau_i)) + \frac{G_i(P)}{k_i R_i(P)} f_i(t) - \frac{k_{mi}}{k_i} r_i(t) - \frac{k_{mi} \Delta Q_i(P)}{k_i R_i(P)(P + a_{mi})} r_i(t) - \sum_{l=1}^{n_i - m_i - 1} q_{il} P^l r_i(t) + \sum_{j=1}^k \frac{S_{ij}(P)}{k_i R_i(P)} (e_j + y_{mj}) \right], \quad (7)$$

где $\deg \Delta Q_i = m_i$. Так как $R_i(\lambda)$ — гурвицевы полиномы, то в соответствии с предположениями А.3 функ-

$$\text{ция } \varphi_i(t) = -\frac{k_{mi} \Delta Q_i(P)}{k_i R_i(P)(P + a_{mi})} r_i(t) - \sum_{l=1}^{n_i - m_i - 1} q_{il} P^l r_i(t) + \frac{G_i(P)}{k_i R_i(P)} f_i(t) - \frac{k_{1i} D_i(P)}{k_i R_i(P)} y_{mi}(t - \tau_i) + \sum_{j=1}^k \frac{S_{ij}(P)}{k_i R_i(P)} y_{mj}$$

является ограниченной. Преобразуем уравнение (7) в каноническую векторно-матричную форму

$$\frac{d\varepsilon_i}{dt} = A_i \varepsilon_i + k_i b_i \left[u_i(t) - \frac{k_{mi}}{k_i} r_i(t) + \varphi_i(t) \right] + d_i e_i(t - \tau_i) + \sum_{j=1, j \neq i}^k \alpha_{ij} e_j, \quad e_i = L_i \varepsilon_i$$

где $\varepsilon_i \in R^{n_i}$; $A_i, b_i, d_i, \alpha_{ij}$ — соответствующие матрицы перехода от модели “вход — выход” к модели “вход — состояние — выход”; $L_i = [1, 0, \dots, 0]$.

Введем расширенный вектор состояния ошибки $\varepsilon_{pi} = \text{col}(\varepsilon_i, \theta_{yi} - \theta_{1i}, \theta_{ui} - \theta_{2i})$ и выхода $e_{pi} = \text{col}(e_i, \theta_{yi} - \theta_{1i}, \theta_{ui} - \theta_{2i})$. Тогда, принимая во внимание выражения (6), получим следующее уравнение:

$$\dot{\varepsilon}_{pi} = A_{pi} \varepsilon_{pi} + b_{pi} \left[u_i(t) - \frac{k_{mi}}{k_i} r_i(t) \right] + b_{1i} \varphi_i(t) + b_{2i} r_i(t) + d_{pi} e_i(t - \tau_i) + \sum_{j=1}^k \alpha_{pij} e_j, \quad e_{pi} = L_{pi} \varepsilon_{pi}, \quad (8)$$

где $\varepsilon_{pi} \in R^{3n_i - 2}$; $e_{pi} \in R^{2n_i - 1}$; числовые матрицы $A_{pi}, b_{pi}, b_{1i}, b_{2i}, d_{pi}, L_{pi}, \alpha_{pij}$ имеют вид

$$A_{pi} = \begin{bmatrix} A_i & 0 & 0 \\ b_{0i} L_i & F_i & 0 \\ 0 & 0 & F_i \end{bmatrix}, \quad L_{pi} = \begin{bmatrix} L_i & 0 & 0 \\ 0 & I_{n_i - 1} & 0 \\ 0 & 0 & I_{n_i - 1} \end{bmatrix},$$

$$b_{pi} = \begin{bmatrix} k_i b_i \\ 0 \\ b_{0i} \end{bmatrix}, \quad b_{1i} = \begin{bmatrix} k_i b_i \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad b_{2i} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \frac{k_{mi}}{k_i} b_{0i} \end{bmatrix},$$

$$d_{pi} = \begin{bmatrix} d_i \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \alpha_{pij} = \begin{bmatrix} \alpha_{ij} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Зададим закон управления в виде

$$u_i = C_i' e_{pi} + \mu_i r_i, \quad (9)$$

где C_i и μ_i — настраиваемые вектор и скаляр. Тогда уравнение (8) преобразуется к виду

$$\dot{\varepsilon}_{pi} = (A_{pi} + b_{pi} C_{0i}' L_{pi}) \varepsilon_{pi} + b_{pi} (C_i - C_{0i})' e_{pi} + b_{pi} (\mu_i - k_{mi}/k_i) r_i + b_{1i} \varphi_i(t) + b_{2i} r_i(t) + d_{pi} e_i(t - \tau_i) + \sum_{j=1}^k \alpha_{pij} e_j, \quad e_{pi} = L_{pi} \varepsilon_{pi}, \quad (10)$$

где C_{0i} — некоторый вектор, обеспечивающий гурвицевость матрицы $A_{0i} = A_{pi} + b_{pi} C_{0i}' L_{pi}$. В работе [19] было показано, что такой вектор существует. Таким образом, в результате введения расширенного вектора выхода e_{pi} задача синтеза алгоритмов настройки параметров управляющего устройства



свелась к уже исследованной в ряде работ [11—14] задаче.

Введем блочно-диагональные матрицы

$$\begin{aligned} A_0 &= \text{diag}\{A_{01}, \dots, A_{0k}\}; & B_p &= \text{diag}\{b_{p1}, \dots, b_{pk}\}; \\ B_1 &= \text{diag}\{b_{11}, \dots, b_{1k}\}; & C &= \text{diag}\{C_1, \dots, C_k\}; \\ C_0 &= \text{diag}\{C_{01}, \dots, C_{0k}\}; & B_2 &= \text{diag}\{b_{21}, \dots, b_{2k}\}; \\ L_p &= \text{diag}\{L_{p1}, \dots, L_{pk}\}; & D &= \text{diag}\{d_{p1}, \dots, d_{pk}\}; \\ \mu &= \text{diag}\{\mu_1, \dots, \mu_k\}; & \mu_0 &= \text{diag}\{k_{m1}/k_1, \dots, k_{mk}/k_k\} \end{aligned}$$

и векторы

$$\begin{aligned} \varepsilon_p &= \text{col}\{\varepsilon_{p1}, \dots, \varepsilon_{pk}\}; & u &= \text{col}\{u_1, \dots, u_k\}; \\ e &= \text{col}\{e_1, \dots, e_k\}; & e_p &= \text{col}\{e_{p1}, \dots, e_{pk}\}; \\ \varphi &= \text{col}\{\varphi_1, \dots, \varphi_k\}; & r &= \text{col}\{r_1, \dots, r_k\}; \end{aligned}$$

$$e(t - \tau) = \text{col}\{e_1(t - \tau_1), \dots, e_k(t - \tau_k)\},$$

тогда уравнение системы (10) в составной форме примет вид

$$\dot{\varepsilon}_p = A_0 \varepsilon_i + B_p(C - C_0)^T e_p + B_p(\mu - \mu_0)r + B_1 \varphi(t) + B_2 r + D e(t - \tau) + \alpha_p e, \quad e_p = L_p \varepsilon_p, \quad (11)$$

где $\varepsilon_p \in R^{3n-2}$, $e_p \in R^{2n-1}$; $n = \sum_{i=1}^k i$; α_p — блочная матрица с блоками α_{pij} :

$$\alpha_p = \begin{bmatrix} 0 & \alpha_{p12} & \dots & \alpha_{p1M} \\ \alpha_{p21} & 0 & \dots & \alpha_{p2M} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_{pM1} & \alpha_{pM2} & \dots & 0 \end{bmatrix}.$$

В соответствии с работами [12, 13] для системы (9), (11) справедливо

Утверждение. Пусть выполнены условия А.1—А.5. Тогда алгоритмы адаптации

$$\begin{aligned} \dot{C}_i &= -\rho g_i^T e_{pi} \Gamma_{1i} e_{pi} - \gamma C_i, \\ \dot{\mu}_i &= -\rho g_i^T e_{pi} \gamma_{2i} r_i - \gamma \mu_i, \end{aligned} \quad (12)$$

где $\rho > 0$; $\gamma > 0$; $\gamma_{2i} > 0$; Γ_{1i} — положительно определенные симметричные матрицы, обеспечивают выполнение целевых условий (3), если число $n > 0$ выбрано так, что $n > d_{pi}^T H_i d_{pi}$, где положительно

определенные симметричные матрицы H_i удовлетворяют условиям

$$\begin{aligned} H_i A_{0i} + A_{0i}^T H_i + H_i &< -Q_i - n L_{0i}^T L_i L_{0i}, \\ H_i b_{pi} &= L_{pi}^T g_i, \quad L_{0i} = [I_{n_i}, O_{n_i \times n_{i-1}}, O_{n_i \times n_{i-1}}], \end{aligned} \quad (13)$$

где Q_i — произвольные положительно определенные симметричные матрицы и выполнены неравенства $\tilde{\rho} > \frac{1}{2}$, $\rho_2 > 4\tilde{\rho} \|g_{1i}\| \|\tilde{g}_i\|$, где g_{1i} — первая компонента вектора g_i ; \tilde{g}_i — оставшиеся компоненты того же вектора; $\tilde{\rho} > 0$, $\rho_2 > 0$ — произвольные числа.

При этом справедлива оценка

$$\begin{aligned} |e_i| &< \frac{1}{|g_{1i}|} \sqrt{\frac{\chi}{\tilde{\rho}}}, \quad \text{где } \chi = \frac{\gamma}{\rho} (\lambda_{\max}(\Gamma_{1i}^{-1}) \|C_{0i} - \tilde{\rho} g_i\|^2 + \\ &+ \gamma_{2i}^{-1} |\mu_{0i}|^2) + \frac{|\varphi_i|^2}{\chi_1} + \frac{|r_i|^2}{\chi_2}. \end{aligned} \quad (14)$$

Замечание 1. В соответствии с теоремой ПЗ.1 в работе [13], для существования положительно определенной симметричной матрицы H_i , удовлетворяющей матричным условиям (13), необходимо и достаточно, чтобы полином $\beta_i(\lambda) = \sigma_i(\lambda) g_i^T L_{pi} (\lambda I - A_{pi} - 0,5I)^{-1} b_{pi}$, $i = \overline{1, k}$, был гурвицев с положительными коэффициентами для любых $\xi \in \Xi$ и имел порядок на единицу меньше, чем полином $\sigma_i(\lambda) = \det(\lambda I - A_i - 0,5I) \det(\lambda I - F_i)$.

Замечание 2. В случае, когда все компоненты вектора g_i не равны нулю, порядок полинома $\beta_i(\lambda)$ всегда на единицу меньше, чем порядок полинома $\sigma_i(\lambda)$. Это связано со структурой матриц A_{pi} , L_{pi} , b_{pi} , которая такова, что $g_i^T L_{pi} (\lambda I - A_{pi} - 0,5I)^{-1} b_{pi} = \beta_i(\lambda) / \sigma_i(\lambda)$.

Из уравнений (1) и (4) имеем $\theta_u(\lambda) = \frac{R_1(\lambda)}{Q_1(\lambda)} u$, $\theta_y(\lambda) = (\lambda I - F)^{-1} b_0 \frac{kR(\lambda)}{Q(\lambda)} u = \frac{R_1(\lambda) kR(\lambda)}{Q_1(\lambda) Q(\lambda)} u$, где $R_1(\lambda) = (\lambda I - F)^+ b_0$, где $(\lambda I - F)^+$ — присоединенная матрица матрицы $(\lambda I - F)$;

$$\begin{aligned} \beta_i(\lambda) &= [g_1 \dots g_{2n_i-1}] \left(\frac{kR(\lambda)}{Q(\lambda)}; \left(\frac{R_1(\lambda) kR(\lambda)}{Q_1(\lambda) Q(\lambda)} \right)^T; \left(\frac{R_1(\lambda)}{Q_1(\lambda)} \right)^T \right)^T = \frac{(g_1, \dots, g_{m_i}) kR(\lambda)}{Q(\lambda)} + \frac{(g_{m_i+1}, \dots, g_{n_i}) R_1(\lambda) kR(\lambda)}{Q_1(\lambda) Q(\lambda)} + \\ &+ \frac{(g_{n_i+1}, \dots, g_{2n_i-1}) R_1(\lambda)}{Q_1(\lambda)} = \frac{(g_1, \dots, g_{m_i}) kR(\lambda) Q_1(\lambda) + (g_{m_i+1}, \dots, g_{n_i}) R_1(\lambda) kR(\lambda) + Q(\lambda) (g_{n_i+1}, \dots, g_{2n_i-1}) R_1(\lambda)}{Q_1(\lambda) Q(\lambda)}. \end{aligned}$$

Поэтому остается только выбрать вектор g_i из условия гурвицевости полинома $\beta_i(\lambda)$, а увеличение коэффициента ρ в алгоритме позволяет получить достаточно малую величину δ в целевом условии (3).

Замечание 3. Еще одно достоинство предлагаемого подхода заключается в том, что число настраиваемых параметров можно свести до двух (в каждой подсистеме), если закон управления задать в виде $u_i = \tau_i g_i^T e_{pi} + \mu_i r_i$, а параметры τ_i и μ_i настраивать по следующему алгоритму $\dot{\tau}_i = -k_{1i}(g_i^T e_{pi}) - \gamma \tau_i$, $\dot{\mu}_i = -k_{2i} g_i^T e_{pi} r_i - \gamma \mu_i$, где $k_{1i} > 0$, $k_{2i} > 0$. Работоспособность этих алгоритмов доказывается точно так же, как и утверждение (см. Приложение), поэтому здесь не приводится.

3. ПРИМЕР

Рассмотрим динамическую систему шестого порядка, которую представим в виде двух подсистем

$$\begin{aligned} \dot{x}_1(t) &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 1 \end{bmatrix} x_1(t) + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ -2 & -2 & -2 \end{bmatrix} x_1(t-2) + \\ &+ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 3 \end{bmatrix} u_1(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} f_1(t) + \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix} y_2(t), \\ \dot{x}_2(t) &= \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -4 & 4 \end{bmatrix} x_2(t) + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} x_1(t-1) + \\ &+ \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 3 \end{bmatrix} u_2(t) + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix} f_2(t) + \begin{bmatrix} 3 \\ 3 \\ 3 \end{bmatrix} y_1(t). \end{aligned}$$

Параметры локальных эталонных моделей $Q_{mi}(P) = P + 1$, $R_{mi}(P) = 1$. Возмущающее и задающее воздействия, соответственно,

$$f_1(t) = \sin t + \sin 0,5t, \quad r_1(t) = 1 + 0,5 \sin 0,8t,$$

$$f_2(t) = \sin 0,5t + \sin 0,8t, \quad r_2(t) = 1 + \sin 0,7t.$$

Представим рассматриваемый объект в виде (1), где $R_i(P) = k_i$, $D_i(P) = 1$, $Q_i(P) = P^3 + a_{1i}P^2 + a_{2i}P + a_{3i}$. Класс неопределенности задан неравенствами $-4 \leq a_{li} \leq 4$, $l = 1, 2, 3$; $2 \leq k_i \leq 10$. Выберем фильтры (4) с матрицей $F_i = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -8 & -6 \end{bmatrix}$, тогда полиномы $\sigma_i(\lambda)$ и $\beta_i(\lambda)$ примут вид $\sigma_i(\lambda) = (\lambda^3 + a_{1i}\lambda^2 + a_{2i}\lambda + a_{3i})(\lambda^2 + 6\lambda + 8)$,

$$\begin{aligned} \beta_i(\lambda) &= g_{5i}\lambda^4 + (g_{4i} + g_{5i}a_{1i})\lambda^3 + (g_{4i}a_{1i} + g_{5i}a_{2i} + \\ &+ g_{1i}k_i)\lambda^2 + (g_{4i}a_{2i} + g_{5i}a_{3i} + 6g_{1i}k_i + g_{3i}k_i)\lambda + \\ &+ 8g_{1i}k_i + g_{2i}k_i + g_{4i}a_{3i}. \end{aligned}$$

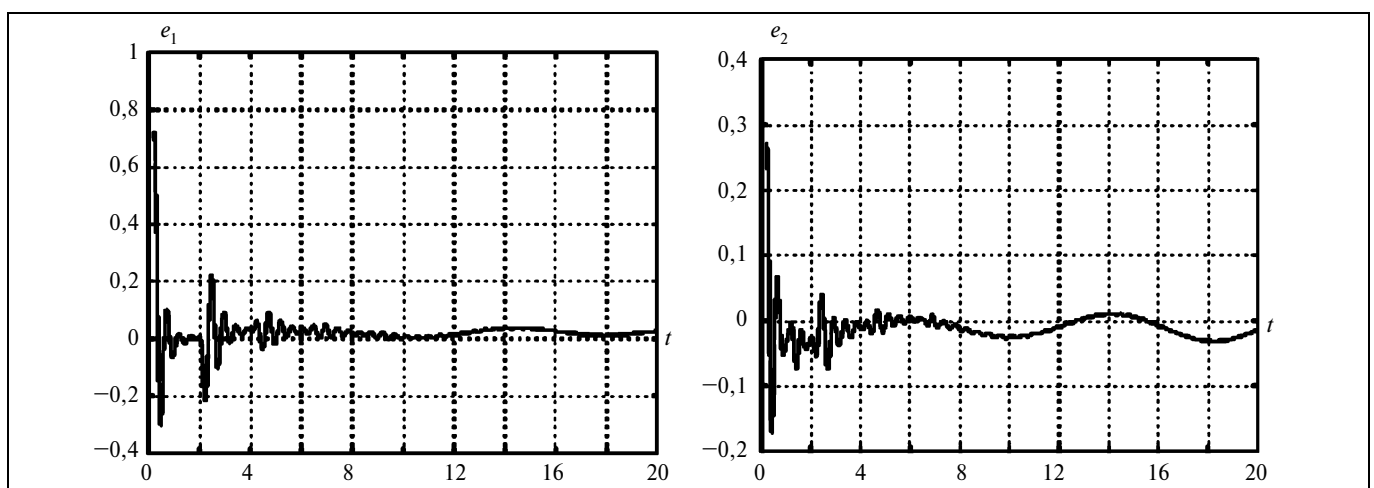
Взяв $g_i^T = [10 \ 10 \ 10 \ 2 \ 0,1]$, получим

$$\begin{aligned} \beta_i(\lambda) &= 0,1\lambda^4 + (2 + 0,1a_{1i})\lambda^3 + (2a_{1i} + 0,1a_{2i} + \\ &+ 10k_i)\lambda^2 + (2a_{2i} + 0,1a_{3i} + 70k_i)\lambda + 90k_i + 2a_{3i}. \end{aligned}$$

Нетрудно проверить, что полином гурвицев для любых параметров a_{li} и k_i из заданного класса неопределенности.

Траектории ошибок

Моделирование на ЭВМ показало хорошую работоспособность синтезированных систем. На рисунке приведены результаты моделирования алго-



Траектории ошибок



ритмов (12) при следующих значениях параметров: $\Gamma_{1i} = \text{diag}\{40\}$, $\gamma_{2i} = 40$, $\gamma_i = 0,1$, $\rho_i = 10$, $i = 1, 2$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложен способ построения адаптивной системы управления многосвязными объектами с запаздыванием по состоянию со скалярными входом и выходом, который позволяет выбирать произвольный порядок многочленов в передаточной функции эталонной модели. Работа алгоритмов осуществляется непосредственно на основании информации об ошибке, а число настраиваемых параметров можно свести в системах с эталонной моделью до двух. При этом структура регулятора полностью децентрализованная.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Доказательство утверждения. Выберем функционал Ляпунова—Красовского [23] в виде

$$V = \varepsilon_p^T H \varepsilon_p + \sum_{i=1}^k \left(\frac{1}{\rho} (C_i - C_{0i} + \tilde{\rho} g_i)^T \Gamma_{1i}^{-1} (C_i - C_{0i} + \tilde{\rho} g_i) + \frac{1}{\rho} \gamma_{2i}^{-1} (\mu_i - \mu_{0i})^2 + n \int_{t-\tau_i}^t e_i^2(s) ds \right),$$

где H — положительно определенная симметричная матрица $H = \text{diag}\{H_1, \dots, H_M\}$. Вычислим полную производную от функционала Ляпунова—Красовского на траекториях системы (11):

$$\begin{aligned} \dot{V} = & \varepsilon_p^T (HA_0 + A_0^T H) \varepsilon_p + 2\varepsilon_p^T HB_p(C - C_0)^T e_p + \\ & + 2\varepsilon_p^T HB_p(\mu - \mu_0)r + 2\varepsilon_p^T H(B_1\varphi(t) + B_2r + \\ & + De(t - \tau) + \alpha_p e) + \sum_{i=1}^k \frac{2}{\rho} ((C_i - C_{0i} + \tilde{\rho} g_i)^T \Gamma_{1i}^{-1} \dot{C}_i + \\ & + \gamma_{2i}^{-1} (\mu_i - \mu_{0i}) \dot{\mu}_i + n e_i^2(t) - n e_i^2(t - \tau_i)). \end{aligned} \quad (15)$$

Воспользуемся оценкой $2\varepsilon_p^T HDe(t - \tau) \leq \varepsilon_p^T H\epsilon + e^T(t - \tau)D^T HDe(t - \tau)$. Принимая во внимание, что матрицы H , A_0 и D являются блочно-диагональными, получим, что для каждой подсистемы положительно определенные симметричные матрицы H_i должны удовлетворять условиям (13), а число $n > d_{pi}^T H_i d_{pi}$.

Добавим и вычтем в формуле (15) выражение $2\tilde{\rho} e_{pi}^T g_i g_i^T e_{pi} = 2\tilde{\rho} \varepsilon_{pi}^T H_i b_{pi} b_{pi}^T H_i \varepsilon_{pi}$ и, определив ал-

горитмы настройки локальных регуляторов согласно выражениям (12), получим

$$\begin{aligned} \dot{V} = & -\varepsilon_p^T Q \varepsilon_p + 2\varepsilon_p^T H(B_1\varphi(t) + B_2r + \alpha_p e) - \\ & - \sum_{i=1}^k \left[2\tilde{\rho} e_{pi}^T g_i g_i^T e_{pi} + \frac{2}{\rho} (C_i - C_{0i} + \tilde{\rho} g_i)^T \Gamma_{1i}^{-1} \gamma C_i + \right. \\ & \left. + \frac{2}{\rho} \gamma_{2i}^{-1} (\mu_i - \mu_{0i}) \gamma \mu_i \right], \end{aligned} \quad (16)$$

где $Q = \text{diag}\{Q_1, \dots, Q_M\}$. Учитывая блочную диагональность всех матриц, за исключением α_p , воспользуемся оценками

$$\begin{aligned} -\frac{2}{\rho} (C_i - C_{0i} + \tilde{\rho} g_i)^T \Gamma_{1i}^{-1} \gamma C_i & \leq \frac{\gamma}{\rho} \lambda_{\max}(\Gamma_{1i}^{-1}) \|C_{0i} - \\ - \tilde{\rho} g_i\|^2 - \frac{\gamma}{\rho} (C_i - C_{0i} + \tilde{\rho} g_i)^T \Gamma_{1i}^{-1} (C_i - C_{0i} + \tilde{\rho} g_i), \\ -\frac{2}{\rho \gamma_{2i}} (\mu_i - \mu_{0i}) \gamma \mu_i & \leq -\frac{\gamma}{\rho \gamma_{2i}} (\mu_i - \mu_{0i})^2 + \frac{\gamma}{\rho \gamma_{2i}} |\mu_{0i}|^2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} -0,5 \varepsilon_p^T Q \varepsilon_p & \leq -0,5 \lambda_{\min}(Q) \|\varepsilon_p\|^2 \leq \\ & \leq -\frac{0,5 \lambda_{\min}(Q)}{\lambda_{\min}(H)} \varepsilon_p^T H \varepsilon_p, \end{aligned}$$

$$2\varepsilon_{pi}^T H_i b_{1i} \varphi_i \leq 2|\varepsilon_{pi}^T H_i b_{1i}| \|\varphi_i\|,$$

$$2\varepsilon_{pi}^T H_i b_{2i} r_i \leq 2|\varepsilon_{pi}^T H_i b_{2i}| \|r_i\|,$$

$$2\varepsilon_{pi}^T H_i \alpha_{pij} e_j \leq 2|\varepsilon_{pi}^T H_i \alpha_{pij}| \|e_j\|,$$

$$\varepsilon_{pi}^T Q_{3i} \varepsilon_{pi} \geq \frac{|\varepsilon_{pi}^T H_i \alpha_{pij}|^2}{\alpha_{pij}^T H_i Q_{3i}^{-1} H_i \alpha_{pij}},$$

$$\varepsilon_{pi}^T Q_{1i} \varepsilon_{pi} \geq \frac{|\varepsilon_{pi}^T H_i b_{1i}|^2}{b_{1i}^T H_i Q_{1i}^{-1} H_i b_{1i}}, \quad \varepsilon_{pi}^T Q_{2i} \varepsilon_{pi} \geq \frac{|\varepsilon_{pi}^T H_i b_{2i}|^2}{b_{2i}^T H_i Q_{2i}^{-1} H_i b_{2i}},$$

$$\begin{aligned} -\tilde{\rho} e_{pi}^T g_i g_i^T e_{pi} & \leq -\tilde{\rho} (e_i g_i)^2 + 2\tilde{\rho} |g_i| \|\tilde{g}_i\| \|e_i\| \|e_{pi}\| \leq \\ & \leq -\tilde{\rho} (e_i g_i)^2 + 2\tilde{\rho} |g_i| \|\tilde{g}_i\| \|e_{pi}\|^2, \end{aligned}$$

где $0,5Q_i = Q_{1i} + Q_{2i} + Q_{3i} + \rho_2 I_{n_i}$, g_{1i} — первая компонента вектора g_p , \tilde{g}_i — оставшиеся компоненты того же вектора. Тогда из выражения (16) получим

$$\begin{aligned} \dot{V} < & -\eta_1 V + \sum_{i=1}^k \left(\frac{\gamma}{\rho} (\lambda_{\max}(\Gamma_{1i}^{-1}) \|C_{0i} - \tilde{\rho} g_i\|^2 + \right. \\ & + \gamma_{2i}^{-1} |\mu_{0i}|^2) - |\varepsilon_{pi}^T H_i b_{1i}|^2 \chi_1 - |\varepsilon_{pi}^T H_i b_{2i}|^2 \chi_2 + \\ & \left. + 2|\varepsilon_{pi}^T H_i b_{1i}| \|\varphi_i\| + 2|\varepsilon_{pi}^T H_i b_{2i}| \|r_i\| + \right. \end{aligned}$$

$$+ 4\tilde{\rho}\|g_{1i}\|\tilde{g}_i\|\varepsilon_{pi}\|^2 - \rho_2\|\varepsilon_{pi}\|^2 + \sum_{j=1}^k [2|\varepsilon_{pi}^T H_i \alpha_{pij}| e_i - |\varepsilon_{pi}^T H_i \alpha_{pij}|^2 \chi_3 - 2\tilde{\rho}(g_{1i} e_i)^2],$$

где $\eta_1 = \min\left\{\gamma, \frac{0,5\lambda_{\min}(Q)}{\lambda_{\max}(H)}\right\}$, $\chi_1 = \frac{1}{b_{1i}^T H_i Q_{1i}^{-1} H_i b_{1i}}$,

$\chi_2 = \frac{1}{b_{2i}^T H_i Q_{2i}^{-1} H_i b_{2i}}$, $\chi_3 = \frac{1}{\alpha_{pij}^T H_i Q_{2i}^{-1} H_i \alpha_{pij}}$. Дополняя

соответствующие слагаемые правой части до полного квадрата, получим

$$\begin{aligned} \dot{V} < -\eta_1 V + \sum_{i=1}^k \left(\frac{\gamma}{\rho} (\lambda_{\max}(\Gamma_{1i}^{-1})) C_{0i} - \tilde{\rho} g_i \right)^2 + \\ + \gamma_{2i}^{-1} |\mu_{0i}|^2 - \tilde{\rho} (g_{1i} e_i)^2 - \left(\sqrt{\chi_1} |\varepsilon_{pi}^T H_i b_{1i}| - \frac{|\varphi_i|}{\sqrt{\chi_1}} \right)^2 + \\ + \frac{|\varphi_i|^2}{\chi_1} - \left(\sqrt{\chi_2} |\varepsilon_{pi}^T H_i b_{2i}| - \frac{|r_i|}{\sqrt{\chi_2}} \right)^2 + \\ + \frac{r^2}{\chi_2} - \sum_{j=1}^k [e_j \varepsilon_{pi}^T H_i \alpha_{pij}] \begin{bmatrix} \tilde{\rho} g_{1j}^2 - 1 \\ -1 \quad \chi_3 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} e_j \\ \varepsilon_{pi}^T H_i \alpha_{pij} \end{bmatrix} - \\ - (\rho_2 - 4\tilde{\rho}\|g_{1i}\|\tilde{g}_i\|\varepsilon_{pi}\|^2). \end{aligned} \quad (17)$$

Выберем ρ_2 из условия $\rho_2 > 4\tilde{\rho}\|g_{1i}\|\tilde{g}_i\|$, обеспечив положительность последнего слагаемого в выражении (17), а $\tilde{\rho}$ — из условия $\tilde{\rho} > \frac{1}{g_{1j}\chi_3}$, обеспе-

чив положительную определенность матрицы по критерию Сильвестра. Тогда получим

$$\begin{aligned} \dot{V} < -\eta_1 V + \sum_{i=1}^k \left(\frac{\gamma}{\rho} (\lambda_{\max}(\Gamma_{1i}^{-1})) C_{0i} - \tilde{\rho} g_i \right)^2 + \\ + \gamma_{2i}^{-1} |\mu_{0i}|^2 + \frac{|\varphi_i|^2}{\chi_1} + \frac{|r_i|^2}{\chi_2} - \tilde{\rho} (g_{1i} e_i)^2, \end{aligned}$$

откуда следует ограниченность $e_i(t)$, $C_i(t)$ и $\mu_i(t)$, так как если $|e_i| \geq \frac{1}{|g_i|} \sqrt{\frac{\gamma}{\tilde{\rho}}}$, то $\dot{V} < -\eta_1 V$. Следовательно, справедлива оценка (14).

ЛИТЕРАТУРА

1. Миркин Б. М. Адаптивное децентрализованное управление с модельной координацией // Автоматика и телемеханика. — 1999. — № 1. — С. 90—100.

2. Паршева Е. А., Цыкунов А. М. Адаптивное децентрализованное управление многосвязными объектами // Автоматика и телемеханика. — 2001. — № 2. — С. 135—148.

3. Фрадков А. Л. Адаптивное управление в сложных системах. — М.: Наука, 1990.

4. Ядыкин И. Б., Шумский В. М., Овсепян Ф. А. Адаптивное управление непрерывными технологическими процессами. — М.: Энергоатомиздат, 1985.

5. Ioannou P. A., Kokotovich P. Adaptive systems with reduced models. — Berlin: Springer Verlag, 1983.

6. Ioannou P. A. Decentralized adaptive control of interconnected systems // IEEE Trans. on Automat. Control. — 1983. — Vol. 31, No. 4. — P. 362—367.

7. Gavel D. T., Siljak D. D. Decentralized adaptive control: structural conditions for stability // IEEE Trans. on Automat. Control. — 1989. — Vol. 34, No. 3. — P. 413—426.

8. Ortega P., Herrera A. A solution to the decentralized adaptive control: A new model reference scheme // IEEE Trans. on Automat. Control. — 1993. — Vol. 38, No. 2. — P. 1717—1727.

9. Mirkin B. M. Commentson "Exact Output Tracking in Decentralized Adaptive Control" // IEEE Trans. on Automat. Control. — 2003. — Vol. 48, No. 2. — P. 348—350.

10. Прангишвили И. В., Подлазов В. С., Стещюра Г. Г. Локальные микропроцессорные вычислительные сети. — М.: Наука, 1984.

11. Parks P. C. Liapunov redesign of model reference adaptive control systems // IEEE Trans. on Automat. Control. — 1966. — Vol. 11, No. 3. — P. 363—367.

12. Фрадков А. Л. Синтез адаптивной системы стабилизации линейного динамического объекта // Автоматика и телемеханика. — 1974. — № 12. — С. 96—103.

13. Мирошник И. В., Никифоров В. О., Фрадков А. Л. Нелинейное адаптивное управление сложными динамическими системами. — СПб.: Наука, 2000.

14. Никифоров В. О., Фрадков А. Л. Схемы адаптивного управления с расширенной ошибкой (обзор) // Автоматика и телемеханика. — 1994. — № 9. — С. 3—22.

15. Feuer A., Morse A. S. Adaptive control of single-input, single-output linear systems // IEEE Trans. on Automat. Control. — 1978. — Vol. 23, No. 4. — P. 557—569.

16. Monopoli R. V. Model reference adaptive control with an augmented signal // IEEE Trans. on Automat. Control. — 1974. — Vol. 19, No. 5. — P. 474—484.

17. Morse A. S. Global stability of parameter — adaptive control systems // IEEE Trans. on Automat. Control. — 1980. — Vol. 25, No. 3. — P. 433—439.

18. Morse A. S. High-order parameter tuners for adaptive control of nonlinear systems // A. Isidori, T. J. Tarh (eds). Systems, Models and Feedback: Theory and Applications. — Birkhauser, 1992. — P. 339—364.

19. Narendra K. S., Valavani L. S. Stable adaptive controller design — direct control // IEEE Trans. on Automat. Control. — 1978. — Vol. 23, No. 4. — P. 570—583.

20. Narendra K. S., Lin Y. H., Valavani L. S. Stable adaptive controller design. Part. 2. Proof of stability // IEEE Trans. on Automat. Control. — 1980. — Vol. 25, No. 3. — P. 440—448.

21. Narendra K. S., Annaswamy A. M., Singh R. P. A general approach to the stability analysis of adaptive systems // Jnt. J. Control. — 1985. — Vol. 41, No. 1.

22. Nikiforov V. O. A stable gradient algorithm of adaptation using an output signal // Jnt. J. Adaptive Control and Signal Processing. — 1992. — Vol. 6, No. 3. — P. 265—269.

23. Красовский А. А. Некоторые задачи теории устойчивости движения. — М.: Физматгиз, 1959.

☎ (8512) 55-92-31

E-mail: parsheva-el@yandex.ru

□

ПРЕДСТАВЛЕНИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ НЕЧЕТКО-ОКРЕСТНОСТНЫХ СИСТЕМ

С. Л. Блюмин, А. М. Шмырин, О. А. Шмырина

Липецкий государственный технический университет

Рассмотрены классы окрестностных и нелинейных нечетко-окрестностных систем, алгоритмы линеаризации и адаптивной идентификации параметров.

Окрестностные динамические системы введены в рассмотрение [1, 2] с целью дальнейшего развития теории дискретно-аргументных систем. Они являются обобщением классических дискретных систем и их моделей (сингулярных моделей, моделей линейных клеточных машин, дискретно-аргументных моделей различных видов и др.) и позволяют адекватно моделировать сложные дискретные системы, имеющие многочисленные, произвольной структуры, связи между подсистемами с аргументом произвольной природы и размерности.

В качестве примера “окрестностного” определения, предшествующего основным определениям [1, 2], напомним определение марковского случайного поля [3]. Пусть A — носитель — конечное или счетное множество значений системного аргумента, не наделенное какой-либо структурой, кроме используемой далее окрестной структуры; пусть a, b, \dots — элементы из множества A ; пусть $x[a]$ — состояние элемента a ; пусть T, S, \dots — подмножества множества A ; пусть $x[T]$ — совокупность состояний элементов подмножества T . В соответствии с работой [3] состояниями элементов $a \in A$ являются случайные величины, поэтому $\{x[a], a \in A\}$ — случайное поле. Предполагается заданным согласованное семейство конечномерных распределений его вероятностей, из которого, в частности, могут быть найдены условные вероятности $P(x[a]/x[A/a])$. Это случайное поле $O[a]$ называется марковским, если для каждого $a \in A$ существует конечное множество $O(a) \subset A/a$ — окрестность элемента a — такое, что условные вероятности $P(x[a]/x[A/a]) = P(x[a]/x[O(a)])$ зависят лишь от $x[a]$ и $x[b]$ при $b \in O(a)$. В работе [3] наряду с $O[a]$ употребляется и понятие расширенной окрестности $O[a] = O(a) \cup \{a\}$.

Перейдем от марковских случайных полей на счетных множествах к детерминированным динамическим системам с дискретным (счетным) аргументом. Стандартное описание таких сосредоточенных систем, для которых аргументом является время, в случае конечных алфавитов, трактуемых как конечные автоматы, и имеющее вид

$$\begin{cases} x[t] = \varphi(x[t-1], v[t]), x[0] = x_0 \\ y[t] = \psi(x[t]), t \in Z_0 = \{0, 1, 2, \dots\}, \end{cases}$$

где $v[t]$ — входы, $x[t]$ — состояния, $y[t]$ — выходы, подсказывает следующее общее описание окрестностных динамических систем:

$$\begin{cases} x[a] = \Phi(x[O_x[a]], v[O_v[a]]) \\ y[a] = \Psi(x[O_y[a]]). \end{cases}$$

Для класса симметричных систем [1] первое уравнение принимается в виде

$$\Phi_x(x[O_x[a]]) = \Phi_v(v[O_v[a]]).$$

Для класса смешанных систем [1] уравнения объединяются:

$$F(\Phi_x([O_x[a]]), \Phi_v(v[O_v[a]]), \Psi(x[O_y[a]])) = 0.$$

В предшествующей работе [1] для линейных систем указанного вида были решены задачи идентификации и оптимального управления. К окрестностным системам относится класс многомерных MD -систем, простейшими представителями которых являются $2D$ -системы — распределенные системы, наиболее близкие по свойствам к сосредоточенным. К окрестностным системам относится также класс конечных (конечно-аргументных) систем (систем на конечных носителях), моделирующих процессы компьютерной обработки конечных многомерных массивов информации.

Изучение нелинейных окрестностных систем начато с распространения на них подхода [4], связывающего билинейные дискретно-временные системы — простейшие нелинейные системы, наиболее близкие по свойствам к линейным — с $2D$ -системами [5].

Понятие нечеткой системы [6—8] может быть введено уже в контексте общей теории систем как нечеткое соответствие между нечетким входным и выходным объектами, причем функционализация такой системы приводит к нечетким внутреннему объекту и реакции. В контексте аргументно-алфавитных систем, детализирующих общие системы, нечеткими могут быть как множество значений аргумента, так и алфавиты.

Формализация некоторых понятий, связанных с введением нечеткости по аргументу для линейных окрестностных систем, рассмотрена в работах [6, 7].

Нелинейная смешанная нечётко-окрестностная система описывается уравнением [8]

$$\Phi(g; \{\mu_v, v(\alpha), \alpha \in O_v[g]\}; \{\mu_x, x(\beta), \beta \in O_x[g]\}; \{\mu_y, y(\gamma), \gamma \in O_y[g]\}; a) = 0, \quad (1)$$

где $g \in A = \{g_1, g_2, \dots\}$, $O_v[g]$, $O_x[g]$ и $O_y[g]$ — окрестности узла g системы по входу v , состоянию x и выходу y , соответственно; a — вектор параметров; $\alpha, \beta, \gamma \in A$, $\mu_v, \mu_x, \mu_y \in [0, 1]$ — функции принадлежности по входу, состоянию, выходу и являются элементами матриц инцидентий по входу $F_v = \{\mu_v\}$, состоянию $F_x = \{\mu_x\}$, выходу $F_y = \{\mu_y\}$ и характеризуют степень нечёткого влияния друг на друга элементов окрестностей O_v , O_x и O_y . В задаче идентификации задан массив N_M наборов “вход — состояние — выход” $v_u, x_u, y_u, \mu_v, \mu_x, \mu_y, 1 \leq u \leq M$, во всех вершинах g , включенных в окрестности. Для отыскания вектора параметров a следует решить систему уравнений (1) для $1 \leq u \leq M$. Задача может быть решена при помощи итерационного алгоритма нелинейного метода наименьших квадратов, использующего линеаризацию функции Φ по вектору a в окрестности текущей точки a_u , что приводит к оценке $\hat{a}^{(M)}$ вектора параметров a . При поступлении нового набора данных

$$N_{M+1} = \{(\mu_v, v_{M+1}(\alpha), \alpha \in O_v(g)); (\mu_x, x_{M+1}(\beta)), \beta \in O_x(g); (\mu_y, y_{M+1}(\gamma), \gamma \in O_y(g))\}$$

пересчет оценки $\hat{a}^{(M)}$ в оценку $\hat{a}^{(M)} = \theta \hat{a}^{(M)}$, N_{M+1} осуществляется при помощи рекуррентно-итерационной процедуры нелинейного метода наименьших квадратов, что решает задачу адаптивной идентификации параметров для систем данного нечетко-окрестностного класса.

Одним из способов представления систем являются ряды Вольтерра, продолжающие линейный оператор свертки $y[t] = \sum_{s \in \{0, \dots, t\}} h[t, s]v[s]$ нелиней-

ными однородными операторами степеней $2, \dots, n, \dots$:

$$y[t] = v_0[t] + \sum_{s \in \{0, \dots, t\}} h[t, s]v[s] + \\ + \sum_{s_1, s_2 \in \{0, \dots, t\}} h_2[t, s_1, s_2]v[s_1]v[s_2] + \dots \\ \dots \sum_{s_1, s_2, \dots, s_n \in \{0, \dots, t\}} \dots h_n[t, s_1, \dots, s_n]v[s_1]v[s_2] \dots v[s_n] + \dots$$

Это может быть обобщено в виде

$$y[a] = v_0[a] + \sum_{b \in N_v[a]} h[a, b]v[b] + \\ + \sum_{b_1, b_2 \in N_v[a]} h[a, b_1, b_2]v[b_1]v[b_2] + \dots \\ \dots \sum_{b_1, \dots, b_n \in N_v[a]} \dots h[a, b_1, \dots, b_n]v[b_1]v[b_2] \dots v[b_n] + \dots$$

Частным случаем является билинейная система

$$y[a] = \sum_{b_1, b_2 \in N_v[a]} h[a, b_1, b_2]v[b_1]v[b_2].$$

Рассмотрим в этом случае нечетко-окрестностную систему Σ . Пусть заданы ее носители [8]: аргументный A и алфавитные X, Y, Z (общее обозначение Z); определены сигналы в системе $s: A \rightarrow X$ (входы $v: A \rightarrow V$, состояния $x: A \rightarrow X$, выходы $y: A \rightarrow Y$). Пусть дискретный носитель A наделен окрестностной структурой по отношению к системе Σ , т. е. для каждого элемента $a \in A$ и каждого сигнала s задана окрестность $N_s[a]$ (в дальнейшем это может быть $N_v[a], N_x[a], N_y[a]$), состоящая из $n_s[a]$ элементов (соответственно $n_v[a], n_x[a], n_y[a]$). Заданы вспомогательные алфавиты MS .

Элементарный нелинейный нечетко-окрестностный s -блок определяется как заданное для сигнала s и каждого элемента $a \in A$ отображение $f_s: A \times S(n_s[a], \mu_s)$ в MS , т. е. $m_s[a] = f_s(a, \{\mu_s, s[b], b \in N_s[a]\})$, $\mu_s \in MS$, где $\mu_s \in [0, 1]$ — функция принадлежности. В предположении о наличии необходимых алгебраических структур в алфавитах в соответствии с разложением Вольтерра можно записать

$$m_s[a] = s_0[a] + \sum_{b \in N_s[a]} \mu_1 h_1[a, b]s[b] + \\ + \sum_{b_1, b_2 \in N_s[a]} \mu_2 h_2[t, b_1, b_2]s[b_1]s[b_2] + \dots \\ + \sum_{b_1, \dots, b_n \in N_s[a]} \dots \mu_n h_n[a, b_1, \dots, b_n]s[b_1]s[b_2] \dots \\ \dots s[b_n] + \dots,$$

где $\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n, \dots \in [0, 1]$ — функции принадлежности.

Такие блоки могут быть использованы в теории систем следующим образом. Если s тракту-



ется как системный вход v , а MS совпадает с Y , то $y[a] = m_v[a, \mu_v]$ определяет систему “вход — выход” в известном смысле. Если s трактуется как системное состояние, а MS совпадает с X , то уравнение $x[a] = m_x[a, \mu_x]$ определяет “автономную” (без входов и выходов, “свободную”) систему “в пространстве состояний” и служит ее уравнением состояний. При этом удобно допустить, что a не входит в $N_x[a]$; так определяемая система не сингулярна. С другой стороны, если a входит в $N_x[a]$, то уравнение состояний $m_x[a, \mu_x] = 0$ определяет, вообще говоря, сингулярную систему.

Два блока, для одного из которых s трактуется как v , а для другого — как x , при условиях $MV = MX$ и $a \in N_x[a]$ определяют симметричную систему уравнением $m_v[a, \mu_v] = m_x[a, \mu_x]$, вообще говоря, сингулярную; если из $x[b]$, $b \in N_x[a]$ можно выделить $s[a]$ и переписать последнее уравнение в виде

$$x[a] = -f_x^*(a; \{\mu_x, x[b], b \in N_x[a] \setminus a\}) + f_v(a; \{\mu_v, v[c], c \in N_v[a]\}),$$

то эта система не сингулярная.

Наконец, три блока, в которых s трактуется, соответственно, как v , x и y , объединенные общей системной функцией $F: A \times MV \times MX \times MY \rightarrow M$, где M — общий системный алфавит, определяют смешанную нечетко-окрестностную систему, уравнение которой удобно записать в виде $mF[a, \mu] = 0$ или

$$\begin{aligned} &F(a, f_v(a; \{\mu_v, v[c], c \in N_v[a]\}), \\ &f_x(a; \{\mu_x, x[b], b \in N_x[a]\}), \\ &f_y(a; \{\mu_y, y[d], d \in N_y[a]\})) = 0, \end{aligned} \quad (2)$$

что соответствует уравнению (1). В зависимости от возможности выразить из уравнения (2) те или иные члены, можно получить тот или иной специальный класс систем.

Рассмотрим частный случай общей системы (1), явную разностную нечетко-окрестностную нелинейную систему по состоянию

$$x_{i+1} = f(x_i, \dots, x_{i-p}, \mu_{x_i}; a) + N\xi_i, \\ i = 0, 1, \dots, l, 1 \leq p \leq i,$$

где $x_i \in R^n$, f — матрица известных нелинейных функций, $f \in R^{n \times m}$, $a \in R^m$ — вектор неизвестных параметров, N — квадратная матрица известных коэффициентов, ξ_k — гауссов шум с характеристиками $M(\xi_k) = 0$, $M(\xi_k \xi_j^T) = I\delta_{k-j}$, где M — оператор математического ожидания, δ — символ Кронекера; T — знак транспонирования. Оценку $\hat{a}^{(M+1)} =$

$= \theta(\hat{a}^{(M)}, N_{M+1})$ параметров получаем из нелинейного алгебраического уравнения, которое является развитием результатов работы [9] на случай нечетко-окрестностных систем:

$$\sum_{i=0}^M \left(\frac{\partial f(x_i, \hat{a}^{(m+1)}, \mu_{x_i})}{\partial a} \right)^T R^{-1} \times \\ \times (x_{i+1} - f(x_i, \mu_{x_i}, \hat{a}^{(m+1)})) = 0,$$

где $R = NN^T$. Для его решения применяем алгоритм линеаризации [8]:

$$a^{j+1} = a^j + \left[\sum_{i=0}^M \left(\frac{\partial f(x_i, \mu_{x_i}, a^j)}{\partial a} \right)^T R^{-1} \frac{\partial f(x_i, \mu_{x_i}, a^j)}{\partial a} \right]^{-1} \times \\ \times \sum_{i=0}^M \left(\frac{\partial f(x_i, \mu_{x_i}, a^j)}{\partial a} \right)^T R^{-1} (x_{i+1} - f(x_i, \mu_{x_i}, a^j)), \\ j = 0, 1, 2, \dots$$

Данную постановку можно расширить считая, что структура системы известна не полностью, т. е. некоторые из элементов матриц инцидентий требуют определения. Включая эти неизвестные значения μ_v , μ_x , μ_y в число неизвестных параметров, применяем описанный подход.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрены вопросы обоснования окрестностного подхода в теории систем в случае, когда носитель дискретной сосредоточенной или распределенной системы наделен окрестностной структурой.

Исследуется также вопрос об учете нечеткостей, возникающих во множестве значений аргумента системы. Во многих прикладных задачах окрестности как подмножества множества значений аргумента оказываются нечеткими. Уже в случае простейших дискретно-временных систем это приводит к необходимости учета зависимости текущего состояния от всей предыстории. В работе развивается подход к учету нечеткости окрестностей по состоянию дискретно-временных систем применительно к нелинейным смешанным нечетко-окрестностным системам.

Одно из возможных направлений применения нечетко-окрестностных систем состоит в трактовке функции принадлежности как входных воздействий системы, что может представлять интерес при решении проблем управления нечеткими системами. Подход к учету нечеткости окрестностей по состоянию дискретно-временных систем позволяет расширить класс нечетких систем до более общего класса систем с изменяющейся структурой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Блюмин С. Л., Шмырин А. М., Шмырин Д. А. Смешанное управление смешанными системами. — Липецк: ЛГТУ, 1998. — 80 с.
2. Блюмин С. Л., Шмырин А. М. От систем на графах к окрестностным системам // Математическое моделирование систем: методы, приложения и средства: Сб. науч. тр. / ВГУ. — Воронеж, 1999. — С. 33–41.
3. Ставская О. Н. Достаточные условия единственности случайного поля и оценки для корреляций // Математические заметки. — 1975. — Т. 18, № 4. — С. 609–620.
4. Kamen E. On the relationship between bilinear maps and linear 2D maps // Nonlin. Anal., Theor., Meth. & Appl. — 1979. — Vol. 3, No 4. — P. 467–481.
5. Блюмин С. Л., Шмырин А. М., Шмырина О. А. Алгоритмы преобразования m -линейных окрестностных систем в линейные $(n_1 + \dots + n_m)$ -аргументные системы // Электронические комплексы и системы управления: Сб. науч. тр. / ВГТУ. — Воронеж, 2002. — С. 81–86.
6. Блюмин С. Л., Шмырин А. М. Нечеткие окрестностные системы: модельный пример // Современные проблемы информатизации в непромышленной сфере и экономике: Сб. тр. — Воронеж, 2003. — Вып. 8. — С. 93, 94.
7. Шмырин А. М. Дискретные нечетко-окрестностные системы // Датчики и системы. — 2004. — № 1. — С. 18–20.
8. Блюмин С. Л., Шмырин А. М., Шмырина О. А. Нелинейные нечетко-окрестностные системы // III Международная конференция “Идентификация систем и задачи управления” SICPRO-04/ИПУ. — М., 2004.
9. Рубан А. И. Идентификация одного класса стохастических нелинейных дискретных объектов // Автоматика и вычислительная техника. — 1973. — № 3. — С. 64–70.

☎ (0742) 32-81-33

E-mail: amsh@lipetsk.ru

□

УДК 681.3

ИНТЕРВАЛЬНАЯ ЛОГИКА И СВЕРХНЕЧЕТКИЕ МНОЖЕСТВА

В. И. Левин

Пензенская государственная технологическая академия

Предложено обобщение нечеткого множества Заде на случай, когда само базовое понятие — мера принадлежности элемента множеству — характеризуется некоторой неопределенностью. Для обобщения принята интервальная неопределенность и применена интервальная логика.

ВВЕДЕНИЕ

Хорошо известно, что использование вместо булевых логических операций непрерывной логики (НЛ) — дизъюнкции $a \vee b = \max(a, b)$, конъюнкции $a \wedge b = \min(a, b)$ и отрицания $\bar{a} = 1 - a$; $a, b \in [0, 1]$, совершаемых над мерами принадлежности $M_A(x)$ и $M_B(x)$ элемента x различным множествам A и B , где $0 \leq M(\cdot) \leq 1$, — позволяет обобщить стандартные операции объединения, пересечения и дополнения обычных (канторовых) множеств на случай так называемых

нечетких множеств [1]. При этом дизъюнкции мер принадлежности соответствует объединение, их конъюнкции — пересечение, а отрицанию — дополнение нечетких множеств. Далее, те или иные обобщения операций НЛ позволяют вводить различные обобщения указанных стандартных операций для нечетких множеств. Так, использование логической операции упорядоченного выбора позволило ввести операцию r -композиции нечетких множеств [2], а использование линейной комбинации дизъюнкции и конъюнкции НЛ позволяет аналогичным образом ввести операцию λ -композиции таких множеств [3]. При этом исходной для



операции r -композиции нечетких множеств A, B, \dots, D является логическая операция выбора r -й по возрастанию меры принадлежности элемента x среди мер $M_A(x), M_B(x), \dots, M_D(x)$ его принадлежности различным множествам A, B, \dots, D . Результат этой операции и принимается за меру принадлежности элемента x к r -композиции множеств A, B, \dots, D . А исходной для операции λ -композиции нечетких множеств A и B является гибридная логико-алгебраическая операция в виде линейной комбинации дизъюнкции и конъюнкции НЛ

$$a(\lambda)b = (1 - \lambda)(a \wedge b) + \lambda(a \vee b), 0 \leq \lambda \leq 1.$$

Результат этой операции над мерами принадлежности элемента x множествам A и B и принимается за его меру принадлежности λ -композиции этих множеств. Обе введенные операции над нечеткими множествами обобщают операции объединения и пересечения нечетких множеств, занимая промежуточное положение между ними, зависящее от значения параметра r или λ . Описанные операции над нечеткими множествами опираются на точно известные функции принадлежности элементов x , что на практике далеко не всегда осуществимо. Цель настоящей статьи — обобщение основных понятий теории нечетких множеств на случай, когда функции принадлежности известны неточно.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Все указанные во Введении операции над нечеткими множествами основаны на молчаливом предположении, что мера принадлежности $M_A(x)$ любого элемента x любому множеству A точно известна. Это предположение определяет современную теорию обычных нечетких множеств. Однако оно противоречит другому предположению данной теории, по которому понятие нечеткого множества позволяет моделировать неопределенность человеческого мышления, поскольку следствием данной неопределенности должна была бы быть также неточность оценки меры принадлежности $M_A(x)$ элемента x человеком.

Изложенные соображения побуждают попытаться перейти от понятия нечеткого множества к новому понятию *сверхнечеткого множества*, в котором учтена указанная неточность.

Неточность оценки меры принадлежности элемента множеству, свойственная человеку, может учитываться путем введения в эту оценку различных форм неопределенности: статистической, нечеткой или интервальной. По ряду причин целесообразно выбрать интервальную форму неопределенности. Действительно, эта форма — наи-

более простая, содержащая минимум информации об оцениваемой величине. Далее, эта форма весьма удобна для экспертов, оценивающих те или иные величины. Наконец, существует развитый математический аппарат — так называемая интервальная математика, позволяющая выполнять вычисления с интервальными числами.

Наша задача с математической точки зрения состоит в следующем. Пусть для некоторой системы подмножеств A, B, \dots универсального множества заданы приближенно (с точностью до интервалов возможных значений) функции принадлежности $M_A(x), M_B(x), \dots$ элементов x . Требуется построить, с помощью заданных функций принадлежности, теоретико-множественные операции объединения, пересечения и дополнения множеств A, B, \dots , учитывающие неточность задания указанных функций.

2. МЕТОД РЕШЕНИЯ

Будем считать по определению, что любой элемент $x \in U$, где U — универсальное множество, характеризуется мерой принадлежности $\tilde{M}_A(x)$ к сверхнечеткому множеству A , задаваемой в виде замкнутого интервала $\tilde{M}_A(x) = [M_{1A}(x), M_{2A}(x)]$, $M_{1A}(x), M_{2A}(x) \in [0, 1]$, где $M_{1A}(x)$ — нижняя, а $M_{2A}(x)$ — верхняя граница интервальной меры принадлежности элемента x множеству A . Таким образом, основное отличие сверхнечеткого множества от нечеткого заключается в том, что в первом уже базовое понятие — мера принадлежности элемента множеству — характеризуется некоторой неопределенностью. В нашем случае эта неопределенность интервальная, но в принципе можно воспользоваться и другими ее видами. Итак, сверхнечеткое множество A характеризуется интервальной функцией принадлежности $U \rightarrow \tilde{M}_A(x) \subseteq [0, 1]$, которая ставит в соответствие каждому элементу $x \in U$ интервальное число $\tilde{M}_A(x)$ из интервала $[0, 1]$, характеризующее приблизительно (с точностью до интервала) меру принадлежности элемента x множеству A .

Введение сверхнечетких множеств делает более адекватным моделирование мышления человека, в частности, моделирование процесса логического вывода и принятия решений в условиях неопределенности. Построение соответствующей теории возможно на базе интервальной НЛ [4] и проводится следующим образом.

Операции и отношения над сверхнечеткими множествами можно ввести аналогично соответ-

ствующим операциям и отношениям над нечеткими множествами [1]. Именно, отношение включения множества A в множество B определяется в виде

$$(A \subseteq B) \Leftrightarrow [\tilde{M}_A(x) \leq \tilde{M}_B(x), \forall x \in U], \quad (1)$$

т. е. A включено в B , если для любого элемента x его интервальная мера принадлежности к A не превосходит его интервальной меры принадлежности к B . Далее, равенство множеств A и B определяется в виде

$$(A = B) \Leftrightarrow [\tilde{M}_A(x) = \tilde{M}_B(x), \forall x \in U], \quad (2)$$

т. е. $A = B$, если для любого элемента x его интервальные меры принадлежности обоим множествам равны. В противном случае $A \neq B$. Дополнение \bar{A} множества A вводится следующим образом

$$(B = \bar{A}) \Leftrightarrow [\tilde{M}_A(x) = \bar{\tilde{M}}_B(x), \forall x \in U], \quad (3)$$

т. е. $B = \bar{A}$, если для любого элемента x его интервальная мера принадлежности множеству B равна отрицанию интервальной НЛ [4] его интервальной меры принадлежности множеству A . Объединение множеств A и B определяется так:

$$(C = A \cup B) \Leftrightarrow [\tilde{M}_C(x) = \tilde{M}_A(x) \vee \tilde{M}_B(x), \forall x \in U]. \quad (4)$$

Таким образом, интервальная мера принадлежности любого элемента x объединению множеств A и B определяется как дизъюнкция интервальной НЛ [4] его интервальных мер принадлежности этим множествам. Наконец, пересечение множеств A и B определяется в виде

$$(C = A \cap B) \Leftrightarrow [\tilde{M}_C(x) = \tilde{M}_A(x) \wedge \tilde{M}_B(x), \forall x \in U], \quad (5)$$

т. е. интервальная мера принадлежности любого элемента x пересечению множеств A и B определяется как конъюнкция интервальной НЛ [4] его интервальных мер принадлежности этим множествам.

Фигурирующие в формулах (1)–(5) отношения между интервальными числами и операции над ними рассмотрены в работе [4]. Согласно ей, эти отношения и операции выполняются по следующим правилам:

$$([a_1, a_2] \leq [b_1, b_2]) \Leftrightarrow (a_1 \leq b_1, a_2 \leq b_2);$$

$$([a_1, a_2] = [b_1, b_2]) \Leftrightarrow (a_1 = b_1, a_2 = b_2);$$

$$([a_1, a_2] = \overline{[b_1, b_2]}) \Leftrightarrow (a_1 = \bar{b}_2 = 1 - b_2, a_2 = \bar{b}_1 = 1 - b_1); \quad (6)$$

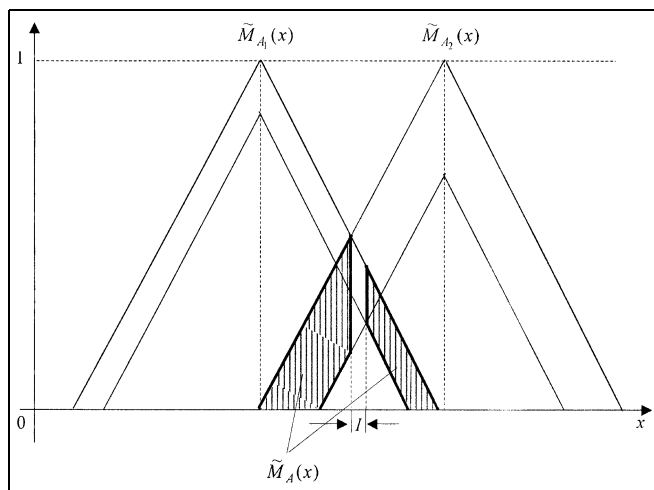
$$([c_1, c_2] = [a_1, a_2] \vee [b_1, b_2]) \Leftrightarrow (c_1 = a_1 \vee b_1, c_2 = a_2 \vee b_2);$$

$$([c_1, c_2] = [a_1, a_2] \wedge [b_1, b_2]) \Leftrightarrow (c_1 = a_1 \wedge b_1, c_2 = a_2 \wedge b_2).$$

3. ПРИМЕНЕНИЕ К ПРИНЯТИЮ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ НЕОПРЕДЕЛЕННОСТИ

Моделирование принятия решений в условиях неопределенности с помощью сверхнечетких множеств идейно аналогично моделированию принятия решений с помощью обычных нечетких множеств. При этом можно пользоваться теми же самыми постановками задач принятия решений и критериями, что считать решением [1]. Например, в случае коллективных решений в качестве правила объединения индивидуальных оценок отдельных экспертов можно принять пересечение сверхнечетких множеств, служащих индивидуальными оценками [1]. Однако здесь возникают существенные математические трудности, связанные со сравнением интервальных чисел и последующим выбором максимального и минимального чисел. Действительно, как видно в первой из формул (6), сравнимы не любые интервалы, а лишь сдвинутые обоими концами относительно друг друга. Поэтому решения в условиях неопределенности на основе сверхнечетких множеств не всегда существуют. Отсутствие решений в некоторых случаях следует рассматривать как плату за неопределенность (недостаточность информации об объекте). Борьба с неопределенностью в таких случаях можно двояко. Во-первых, можно пытаться выбирать высококомпетентных экспертов, способных давать интервальные оценки меры принадлежности элементов множествам в виде весьма узких интервалов, близких к точным оценкам. При этом учитывается тот факт, что точно заданные числа всегда сравнимы. Во-вторых, можно пытаться подбирать коллективы равнокомпетентных экспертов, дающих интервальные оценки меры принадлежности элементов множествам в виде интервалов равной ширины. При этом учитывается тот факт, что, согласно первой из формул (6), интервальные числа с равной шириной всегда сравнимы.

Пример. Два эксперта $i = 1, 2$ дают индивидуальные оценки одной и той же ситуации в виде двух сверхнечетких множеств A_1 и A_2 , интервальные функции принадлежности которых $\tilde{M}_{A_1}(x)$, $\tilde{M}_{A_2}(x)$



**Объединение индивидуальных оценок двух экспертов
в коллективную оценку**

показаны на рисунке. Требуется объединить индивидуальные оценки A_1 и A_2 в коллективную в виде соответствующего сверхнечеткого множества A .

Применим метод пересечения [5], приняв за искомое сверхнечеткое множество A пересечение сверхнечетких множеств A_1 и A_2 . Операцию пересечения множеств выполняем по формуле (5). Требуемое для этого вычисление конъюнкции интервальной НЛ интервальных оценок двух экспертов $\tilde{M}_{A_1}(x)$ и $\tilde{M}_{A_2}(x)$ выполняем по последней из формул (6). Результирующая коллективная оценка A показана на рисунке: ее интервальная функция принадлежности дана штриховкой. Хорошо видно, что в интервале I оценка A не существует из-за неопределенности, вызванной неточными (интер-

вальными) оценками функций принадлежности обоими экспертами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

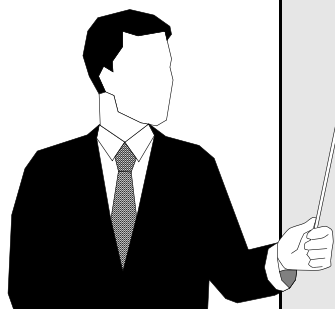
Переход от точной меры принадлежности элемента множеству к приближенной, в виде некоторого интервала, позволяет обобщить понятие нечеткого множества. Результатом обобщения оказывается понятие сверхнечеткого множества, в котором неопределенность содержится не только в неточном задании факта принадлежности элемента множеству (когда элемент может принадлежать множеству, скажем, на 70%), но и в неточной оценке меры принадлежности элемента множеству экспертом (элемент может принадлежать множеству на $(70 \pm 10)\%$). Такое более полное введение неопределенности в понятие множества помогает строить для приложений более реалистичские теоретико-множественные модели.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Заде Л.* Понятие лингвистической переменной. — М.: Мир, 1978.
2. *Левин В. И.* Новое обобщение операций над нечеткими множествами // Изв. РАН. Теория и системы управления. — 2001. — № 1.
3. *Левин В. И.* Дизъюнкция — новая логическая операция // Междунар. науч.-техн. конф. "Математические методы в экономике": Сб. материалов. Пенза, 2002.
4. *Левин В. И.* Интервальная непрерывная логика и ее применение в задачах управления // Изв. РАН. Теория и системы управления. — 2002. — № 1.
5. *Bellman R. E., Zadeh L. A.* Decision Making in Fuzzy Environment // Management Science. — 1970. — Vol. 17, № 4.

☎ (8412) 49-61-56

E-mail: levin@pti.ac.ru



Читайте в следующем номере

Гаврилова Т.Л., Клещев А.С. Анализ подходов к решению проблемы правильности математических знаний

Жуков В.П. О достаточных и необходимых условиях асимптотической устойчивости нелинейных динамических систем

Максимов В.И. Структурно-целевой анализ развития социально-экономических ситуаций

Карибский А.В., Мишутин Д.Ю., Шишорин Ю.Р. Финансово-экономические методы контроллинга при управлении хозяйственной деятельностью интегрированных компаний. Ч. II

Суханов В.М., Фирсова Е.М. Адаптивные декомпозирующие алгоритмы управления полуктивной связкой механических систем

СОГЛАСОВАНИЕ ИНТЕРЕСОВ ПРЕДПРИЯТИЙ ФИНАНСОВО-ПРОМЫШЛЕННЫХ ГРУПП В ЗАДАЧЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РЕСУРСОВ

Ю. В. Федоров

Тольяттинская государственная академия сервиса

Задача распределения ресурсов рассмотрена с точки зрения оценки приоритетности мероприятий по развитию финансово-промышленных групп. Предложен подход, основанный на применении системного анализа, метода анализа иерархий и функционально-стоимостного анализа и позволяющий выявить наилучшую альтернативу из числа предлагаемых.

Будем считать, что предприятия рассматриваемых финансово-промышленных групп (ФПГ) могут быть связаны технологической цепочкой, однако независимы друг от друга и конкурируют между собой за финансовые средства. Источником этих ресурсов служат централизованные средства корпораций, складывающиеся из отчислений предприятий-участников ФПГ, а также, в случае необходимости, и заемные средства. К подобным ФПГ можно отнести такие фирмы Среднего Поволжья, как Самарское объединение компаний, “ТольяттиАзот” и ряд других.

Дефицит финансовых средств характерен, как правило, и для перспективной, и оперативной деятельности ФПГ. Тем не менее, центральным компаниям таких корпораций удается проводить инвестиционную политику совместной деятельности предприятий-участников групп. Для этого среди всех инвестиционных программ выбираются наиболее приоритетные, которые они (полностью или частично) финансируют.

Научно-обоснованный, с позиций системного анализа, выбор приоритетных направлений развития (инвестиционных программ) ФПГ представляет собой сложную проблему [1, 2].

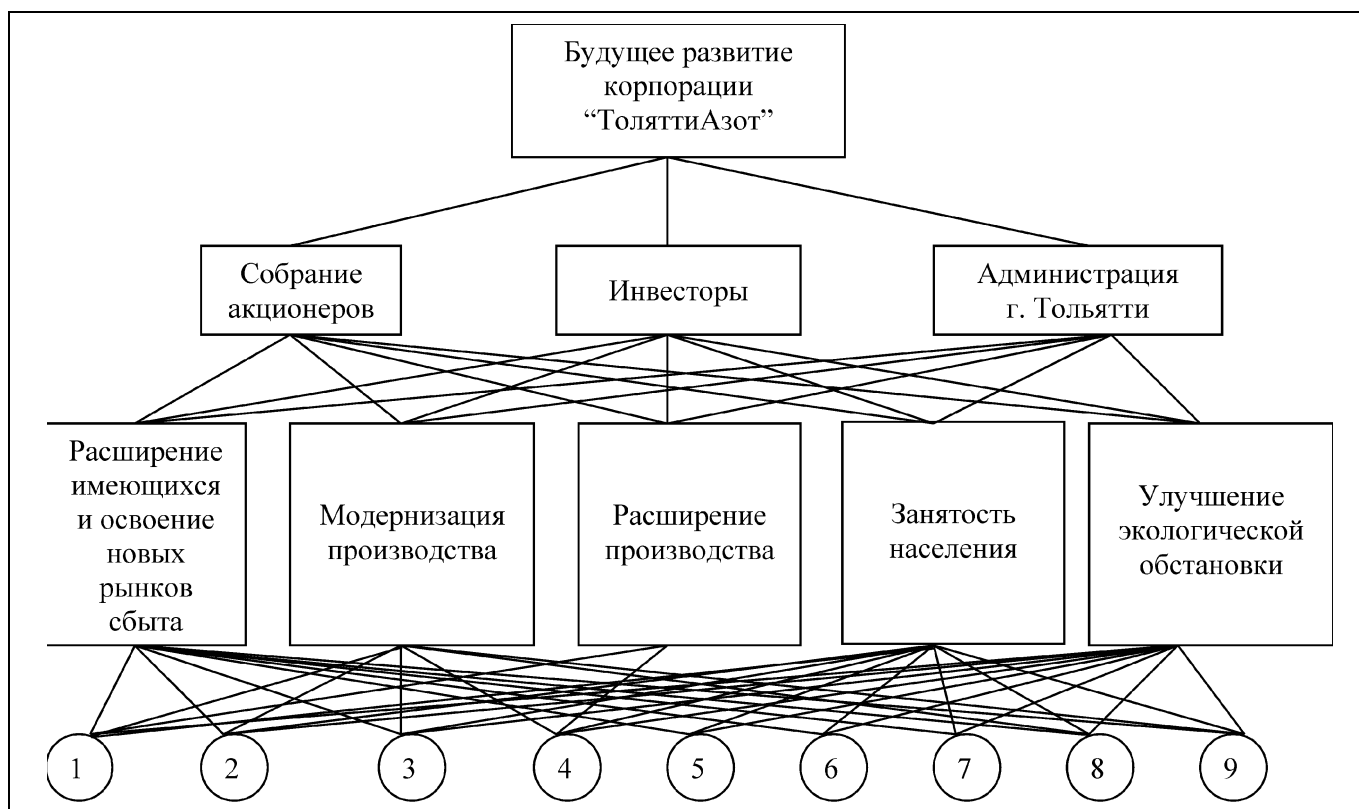
В настоящей статье предлагается подход, основанный на применении метода анализа иерархий и функционально-стоимостного анализа, позволяющий решить указанную задачу. Подход реализован на примере корпорации “ТольяттиАзот”. Ввиду конфиденциальности информации о возможных инвестиционных программах, в перечне альтернатив развития приведены лишь те мероприятия, о

планах осуществления которых можно узнать из открытой печати — заводской многотиражки “Волжский химик” (№ 10, 12, 18, 21, 31, 33, 38 за 2003 г.) и ряда официальных сайтов [3].

Эти альтернативы и образуют самый нижний (четвёртый) уровень иерархического представления исследуемой проблемы (см. рисунок).

Поясним логику формирования данной иерархии. Первый уровень (фокус) определяет будущее развитие корпорации. На втором уровне расположены акторы, в наибольшей степени определяющие это развитие. Здесь вместе с собранием акционеров и инвесторами представлена администрация города, способная повлиять на принятие решений в интересах города. Каждый актор преследует цели, изображенные на третьем уровне. Замыкают иерархию девять возможных сценариев (альтернатив) развития корпорации. С точки зрения классификации имеем иерархию с разным числом и составом альтернатив под критериями. Единичные элементы в матрице B (табл. 1) соответствуют наличию влияния критерия, указанного сверху (расширение имеющихся и освоение новых рынков сбыта, модернизация производства и т. д.) на альтернативу, указанную слева (строки от 1 до 9).

Считая полноту описания исследуемой проблемы приемлемой, перейдём непосредственно к процедуре выявления наилучшей альтернативы из числа рассматриваемых. Для этого вначале, с помощью метода анализа иерархий [4], найдём значимость каждого сценария развития фирмы. Это задача достаточно трудоёмкая и решается в несколько этапов.



Иерархическое представление проблемы планирования мероприятий по развитию корпорации "ТольяттиАзот":

1 — производство колец Палля; 2 — применение газа высокого давления с целью исключения из схемы производства аммиака компрессоров природного газа; 3 — модернизация печей реформинга на агрегатах аммиака "Кемико"; 4 — производство реакционных труб; 5 — строительство терминала по перевалке аммиака; 6 — строительство буксира; 7 — строительство портального крана; 8 — обустройство пляжа, прилегающего к санаторию "Надежда"; 9 — строительство автономной котельной в санатории "Надежда"

На первом этапе определяется степень важности каждой альтернативы относительно элементов вышестоящего уровня иерархии. Для этого все сценарии развития фирмы сравниваются друг с другом с помощью шкалы от 1 до 9 по их воздействию на критерии (элементы третьего уровня иерархии). Таким образом, получаем 5 квадратных матриц суждений (табл. 2 — 6).

Поясним на примере табл. 2 заполнение матрицы суждений. Производство колец Палля (альтернатива 1) имеет некоторое преобладание по значимости в вопросе расширения имеющихся и освоения новых рынков сбыта над применением газа высокого давления (альтернатива 2), модернизацией печей (альтернатива 3), строительством буксира (альтернатива 6), строительством портального крана (альтернатива 7). Поэтому в качестве 2-го, 3-го, 6-го и 7-го элементов первой строки матрицы приняты "тройки". Одинаковая значимость альтернатив 1, 8 и 9 отмечена "единицей". Альтернатива 4 (производство реакционных труб) имеет некоторое преобладание перед альтернати-

вой 1, поэтому элементы матрицы $b_{41} = 3$, $b_{14} = 1/3$ в силу обратносимметричности матрицы суждений. Альтернатива 5 имеет существенное преобладание по значимости перед альтернативой 1, что нашло отражение в том, что $b_{51} = 5$ и $b_{15} = 1/5$. Таким образом, суждения экспертов — аналитиков корпорации — привели к первой строке матрицы

Таблица 1

В		Критерии				
		1	2	3	4	5
Альтернативы	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	0	1	1
	3	1	1	0	1	1
	4	1	1	1	1	1
	5	1	0	0	1	1
	6	1	0	0	1	1
	7	1	0	0	1	1
	8	1	1	0	1	1
	9	1	1	0	1	1

Таблица 2

Расширение имеющихся и освоение новых рынков сбыта	Какая альтернатива наиболее важна для расширения имеющихся и освоения новых рынков сбыта?									W_1
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	1	3	3	1/3	1/5	3	3	1	1	0,1132
2	1/3	1	1	1/3	1/5	3	3	1/3	1/3	0,0695
3	1/3	1	1	1/5	1/5	3	3	1/3	1/3	0,0685
4	3	3	5	1	1/3	5	5	3	3	0,2064
5	5	5	5	3	1	5	5	3	3	0,2550
6	1/3	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1	1/3	1/3	0,0296
7	1/3	1/3	1/3	1/5	1/5	1	1	1/3	1/3	0,0296
8	1	3	3	1/3	1/3	3	3	1	1	0,1141
9	1	3	3	1/3	1/3	3	3	1	1	0,1141

$\lambda_{\max} = 9,73$; ИС = 0,0912 < 0,1

Таблица 3

Занятость населения	Какая альтернатива наиболее важна для обеспечения занятости населения?									W_2
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
1	1	3	3	1	1/5	3	3	3	3	0,1434
2	1/3	1	1	1/3	1/5	1	1	3	3	0,0771
3	1/3	1	1	1/3	1/5	1	1	3	3	0,0771
4	1	3	3	1	1/5	3	3	5	5	0,1718
5	5	5	5	5	1	5	5	7	7	0,3194
6	1/3	1	1	1/3	1/5	1	1	3	3	0,0771
7	1/3	1	1	1/3	1/5	1	1	3	3	0,0771
8	1/3	1/3	1/3	1/5	1/7	1/3	1/3	1	1	0,0285
9	1/3	1/3	1/3	1/5	1/7	1/3	1/3	1	1	0,0285

$\lambda_{\max} = 9,48$; ИС = 0,0608 < 0,1

в виде 1, 3, 3, 1/3, 1/5, 3, 3, 1, 1. Остальные строки заполняются совершенно аналогично, в итоге диагональ матрицы содержит одни единицы, а все другие ее элементы делятся на две части: одну из них составляет целые от 1 до 9, другую — дробные числа (обратносимметричные к соответствующим элементам первой части).

Далее вычисляются нормированный вектор приоритетов альтернатив W_1 , максимальное собственное значение матрицы λ_{\max} и индекс согласо-

ванности (ИС), который служит количественной оценкой согласованности суждений. Если для матрицы парных сравнений индекс согласованности оказался больше 0,1, то это свидетельствует о существенном нарушении логичности суждений эксперта и служит основанием для пересмотра этих оценок.

Вычисление нормированного вектора приоритетов альтернатив предполагает:

- суммирование элементов каждой строки матрицы и запись полученных результатов в столбец;
- сложение всех элементов найденного столбца;
- деление каждого из элементов этого столбца на полученную сумму.

В результате получаем численные значения компонент вектора W_1 , представленные в табл. 2.

Для нахождения максимального собственного значения матрицы:

- умножаем матрицу суждений на полученный столбец W_1 ;

Таблица 4

Расширение производства	Какая альтернатива наиболее важна для расширения производства?		W_3
	1	4	
1	1	1/3	0,25
4	3	1	0,75

$\lambda_{\max} = 2,0$; ИС = 0 < 0,1



Таблица 5

Модернизация производства	Какая альтернатива наиболее важна для модернизации производства?						W_4
	1	2	3	4	8	9	
1	1	1/5	1/3	1/3	3	3	0,1497
2	5	1	1	1	3	3	0,2665
3	3	1	1	1	3	3	0,2284
4	1	1	1	1	3	3	0,2284
8	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	0,0635
9	1/3	1/3	1/3	1/3	1	1	0,0635

$\lambda_{\max} = 6,366$; ИС = 0,0732 < 0,1

Таблица 6

Улучшение экологической обстановки	Какая альтернатива наиболее щадящая по отношению к экологической обстановке?								W_5
	1	2	4	5	6	7	8	9	
1	1	1/3	1/3	1/5	1	1	1	1	0,0542
2	3	1	1/3	1/5	3	3	3	3	0,1527
4	3	3	1	1/3	3	5	5	3	0,2155
5	5	5	3	1	5	5	5	5	0,3140
6	1	1/3	1/3	1/5	1	1	1/3	1/3	0,0419
7	1	1/3	1/5	1/5	1	1	1/3	1/3	0,0406
8	1	1/3	1/5	1/5	3	3	1	1	0,0899
9	1	1/3	1/3	1/5	3	3	1	1	0,0911

$\lambda_{\max} = 8,57$; ИС = 0,0814 < 0,1

б) элементы полученного на предыдущем шаге вектора-столбца делим на соответствующие элементы вектора-столбца приоритетов;

в) рассчитываем среднеарифметическое найденных частных, которые дает нам $\lambda_{\max} = 9,73$.

Численное значение индекса согласованности получается по формуле:

$$\text{ИС} = (\lambda_{\max} - n)/(n - 1) = (9,73 - 9)/(9 - 1) = 0,0912 < 0,1,$$

где $n = 9$ — порядок матрицы сравнений.

Таким образом, переносимость свойств элементов матрицы нарушена незначительно, поэтому пересмотр оценок эксперта не нужен.

Матрицы парных сравнений, приведенные в табл. 3 — 6, заполняются и обрабатываются по тому же алгоритму, что и рассмотренная матрица

(см. табл. 2), поэтому для них указаны лишь результаты.

На втором этапе определяется степень важности критериев (элементов третьего уровня иерархии) глазами собрания акционеров, инвесторов, администрации города (относительно элементов второго уровня иерархии). Соответствующие матрицы парных сравнений с результатами их обработки приведены в табл. 7 — 9.

На третьем этапе находятся вектора приоритетов альтернатив относительно акторов. Вектор приоритетов альтернатив относительно собрания акционеров (совета директоров) определяется путем перемножения матрицы, сформированной из значений векторов приоритетов W_1, W_2, W_3, W_4 и W_5 , на вектор W_6 , определяющий значимость критериев с точки зрения собрания акционеров:

$$W_c = \begin{pmatrix} 0,1132 & 0,1434 & 0,25 & 0,1497 & 0,0542 \\ 0,0695 & 0,0771 & 0 & 0,2665 & 0,1527 \\ 0,0685 & 0,0771 & 0 & 0,2284 & 0 \\ 0,2064 & 0,1718 & 0,75 & 0,2284 & 0,2155 \\ 0,2550 & 0,3194 & 0 & 0 & 0,3140 \\ 0,0296 & 0,0771 & 0 & 0 & 0,0419 \\ 0,0296 & 0,0771 & 0 & 0 & 0,0406 \\ 0,1141 & 0,0285 & 0 & 0,0635 & 0,0899 \\ 0,1141 & 0,0285 & 0 & 0,0635 & 0,0911 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} 0,2 \\ 0,2 \\ 0,2 \\ 0,2 \\ 0,2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0,1421 \\ 0,1132 \\ 0,0748 \\ 0,3144 \\ 0,1777 \\ 0,0297 \\ 0,0295 \\ 0,0592 \\ 0,0594 \end{pmatrix}.$$

Векторы приоритетов альтернатив относительно инвесторов и администрации города находятся совершенно аналогично:

$$W_{и} = [W_1 W_2 W_3 W_4 W_5] \times W_7 = \begin{pmatrix} 0,1421 \\ 0,1132 \\ 0,0748 \\ 0,3144 \\ 0,1777 \\ 0,0297 \\ 0,0295 \\ 0,0592 \\ 0,0594 \end{pmatrix};$$

$$W_{А} = [W_1 W_2 W_3 W_4 W_5] \times W_8 = \begin{pmatrix} 0,1512 \\ 0,1041 \\ 0,0827 \\ 0,3042 \\ 0,1840 \\ 0,0352 \\ 0,0351 \\ 0,0517 \\ 0,0519 \end{pmatrix}.$$

Результирующий вектор приоритетов альтернатив (относительно фокуса иерархии) определяется как

$$W_{рез} = [W_c W_{и} W_a] \times W_9 = \begin{pmatrix} 0,1438 \\ 0,1115 \\ 0,0763 \\ 0,3125 \\ 0,1789 \\ 0,0307 \\ 0,0306 \\ 0,0578 \\ 0,0580 \end{pmatrix},$$

где W_9 — вектор приоритетов заинтересованных групп лиц (акторов) относительно фокуса (будущего развития корпорации), см. табл. 10.

Сумма компонент вектора $W_{рез}$ равна 1, поэтому нормировке он не подлежит.

Помимо информации о перечне возможных сценариев развития корпорации “ТольггиАзот” из упомянутых в начале статьи источников, известны также данные по предполагаемым абсолютным затратам на эти мероприятия (табл. 11).

Теперь, применяя один из основных методов функционально-стоимостного анализа [5] — метод сопоставления затрат на функции с оценкой значимости функций, выявляем искомую альтернативу развития фирмы. Для этого вначале определяем вектор $W_{отн}$ относительных затрат по альтернати-

вам. Компоненты этого вектора рассчитываются по формуле $w_i = c_i/c_{общ}$, где c_i — затраты на осуществление i -й альтернативы, $c_{общ}$ — общие затраты на все альтернативы. Имеем $W_{отн} = (0,0012; 0,0608; 0,0024; 0,0041; 0,9120; 0,0071; 0,0101; 0,0010; 0,0012)$.

Затем получаем вектор с компонентами в виде частных от деления соответствующих значений компонент векторов $W_{отн}$ и $W_{рез}$, увеличенных в 100 раз:

$$W^* = (0,83; 54,23; 3,15; 1,31; 509,78; 23,13; 33,01; 1,73; 2,07).$$

Наиболее предпочтительной для реализации альтернативой следует признать ту, которая имеет

Таблица 7

Собрание акционеров	Какой критерий наиболее важен для собрания акционеров?					W_6
	1	2	3	4	5	
1	1	1	1	1	1	0,2
2	1	1	1	1	1	0,2
3	1	1	1	1	1	0,2
4	1	1	1	1	1	0,2
5	1	1	1	1	1	0,2
$\lambda_{max} = 5,0; ИС = 0 < 0,1$						

Таблица 8

Инвесторы	Какой критерий наиболее важен для инвесторов?					W_7
	1	2	3	4	5	
1	1	1	1	1	1	0,2
2		1	1	1	1	0,2
3	1	1	1	1	1	0,2
4	1	1	1	1	1	0,2
5	1	1	1	1	1	0,2
$\lambda_{max} = 5,0; ИС = 0 < 0,1$						

Таблица 9

Администрация города	Какой критерий наиболее важен для администрации города?					W_8
	1	2	3	4	5	
1	1	1/3	1	1	3	0,1805
2	3	1	3	3	2	0,3590
3	1	1/3	1	1	3	0,1805
4	1	1/3	1	1	3	0,1805
5	1/3	1/2	1/3	1/3	1	0,0995
$\lambda_{max} = 5,38; ИС = 0,095 < 0,1$						



Таблица 10

Будущее развитие корпорации	Точка зрения какой из групп акторов наиболее значима?			W_9
	Собрание акционеров	Инвесторы	Администрация города	
Собрание акционеров	1	1/2	2	0,3333
Инвесторы	2	1	2	0,4762
Администрация города	1/2	1/2	1	0,1905
$\lambda_{\max} = 3,06$; ИС = 0,0304 < 0,1				

Таблица 11

Альтернативы	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9
Абсолютные затраты, млн. руб.	6	300	12	20	4500	35	50	5	6

Таблица 12

	Какая из сравниваемых альтернатив развития фирмы имеет большие затраты?									W_{10}
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	A_6	A_7	A_8	A_9	
A_1	1	1/7	1/3	1/4	1/8	1/5	1/6	2	1	0,0274
A_2	7	1	6	5	1/3	4	3	8	7	0,2176
A_3	3	1/6	1	1/3	1/7	1/4	1/5	4	3	0,0637
A_4	4	1/5	3	1	1/6	1/3	1/4	5	4	0,0787
A_5	8	3	7	6	1	5	4	9	8	0,2685
A_6	5	1/4	4	3	1/5	1	1/3	6	5	0,1304
A_7	6	1/3	5	4	1/4	3	1	7	6	0,1714
A_8	1/2	1/8	1/4	1/5	1/9	1/6	1/7	1	1/2	0,0158
A_9	1	1/7	1/3	1/4	1/8	1/5	1/6	2	1	0,0264

максимальное значение в векторе W^* , т. е. A_5 — строительство терминала по перевалке аммиака.

Возможен вариант, когда заказчик данного исследования, не желая разглашения информации об абсолютных затратах предполагаемых мероприятий, в качестве аналога таких данных предоставляет так называемую порядковую информацию (которую он формирует на базе знания численных значений абсолютных затрат). Эта информация содержит сведения о затратах сравниваемых альтернатив лишь качественного характера: больше или меньше и насколько (порядок) больше или меньше. В этом случае роль вектора абсолютных затрат будет играть вектор приоритетов этих затрат. Он рассчитывается как собственный вектор матрицы парных сравнений, при составлении которых исследователь, используя порядковую информацию, отвечает на вопрос, какая из двух сравниваемых альтернатив имеет большие затраты и насколько (табл. 12).

Тогда $W^* = (0,1905; 1,9516; 0,8347; 0,2518; 1,5008; 4,2476; 5,6013; 0,2734; 0,4552)$.

В соответствии с оценками компонент вектора W_{10} , приведенными в табл. 12, лучшей альтернативой следует считать A_7 , затем A_6 , A_2 и только потом A_5 .

Таким образом, метод определения затрат существенно влияет на результат функциональ-

но-стоимостного анализа. Второй способ их оценки имеет смысл применять в случаях, когда размеры абсолютных затрат неизвестны и о них можно судить лишь с помощью порядковой информации и, кроме того, эксперту важно выразить своё личное отношение к установлению относительной предпочтительности по каждой альтернативе.

Компьютерная версия изложенного подхода реализована в программной среде Borland Delphi 7.0 и может быть рекомендована в качестве составной части подсистемы поддержки принятия решений в составе автоматизированной информационной системы ФПГ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Титов В. В., Толстов В. К.* Финансово-промышленные системы управления. — Новосибирск: ИЭ и ОПП СО РАН, 1998. — 344 с.
2. *Кузин Б. Н., Юрьев В. Н., Шахдинаров Г. Н.* Методы и модели управления фирмой. — СПб.: Питер, 2001. — 432 с.
3. <http://www.baspo.org.ua>; <http://data.rbc.ru>; <http://enc.ex.ru>; <http://www.internetelite.ru>; <http://tesis.infotecstt.ru>; <http://volga.rian.ru>; <http://olap.ru>; <http://www.pr.azov.net>; <http://smi.kuban.info>
4. *Саати Т.* Принятие решений. Метод анализа иерархии. — М.: Радио и связь, 1993. — 316 с.
5. *Влчек Р.* Функционально-стоимостный анализ в управлении. — М.: Экономика, 1986. — 176 с.

☎ (8482) 22-91-08

E-mail: dgoek@kai.ru



ОПТИМИЗАЦИЯ КАЛЕНДАРНОГО ГРАФИКА РАБОТ ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ СХЕМ

П. С. Баркалов⁽¹⁾, В. Н. Колпачев⁽²⁾

⁽¹⁾ *Министерство путей сообщения РФ;*

⁽²⁾ *Воронежский государственный архитектурно-строительный университет*

Рассмотрена задача составления оптимального графика перемещения бригад — определения очередности выполнения работ, обеспечивающих минимум отклонения от заданных сроков, с учетом времени перемещения ресурсов между работами. Приведены решения задачи для линейной, кольцевой и радиальной транспортных схем.

ВВЕДЕНИЕ

Существенную часть задач, возникающих при разработке моделей и методов управления проектами, составляют задачи построения календарных планов реализации проекта, связанных, в основном, с распределением ограниченных ресурсов. Задачи распределения ресурсов на сетевых графиках относятся к сложным многоэкстремальным задачам [1].

Существует небольшое число частных постановок задач, для которых предложены точные методы решения [2]. В общем случае применяются приближенные и эвристические алгоритмы. Сложность задач еще более возрастает, если учитывать времена перемещения ресурсов между работами (достаточно сказать, что простейшая задача определения очередности выполнения работ одной бригадой при учете времени перемещения бригады с одной работы на другую превращается в сложную задачу о коммивояжёре).

В предлагаемой работе рассмотрен ряд новых задач оптимального распределения ресурсов при учете времен их перемещения (двойная сетевая модель) и предложены методы их решения. Заметим, что хотя двойная сетевая модель была предложена В. Н. Бурковым еще в 1960-х гг. [1], точные методы решения задач распределения ресурсов с учетом времени их перемещения отсутствуют. Исключение составляет задача о коммивояжёре.

1. МИНИМИЗАЦИЯ КАЛЕНДАРНОГО ГРАФИКА С УЧЕТОМ ВРЕМЕНИ ПЕРЕМЕЩЕНИЯ БРИГАД

Рассмотрим комплекс из n работ, которые выполняются в пунктах, расположенных друг от друга на заданных расстояниях. Все работы выполняются одной бригадой. Обозначим: τ_i — продолжительность i -й работы, D_i — заданный срок завершения i -й работы, l_{ij} — время перемещения бригады из пункта i в пункт j (l_{0i} — время перемещения бригады от места ее расположения в пункт i).

Постановка задачи. Определить очередность выполнения работ (перестановку π), минимизирующую критерий

$$\Phi(\pi) = \max_i (t_i - D_i), \quad (1)$$

где t_i — момент завершения i -й работы в очередности их выполнения π .

Задача относится к NP -трудным, поскольку ее частным случаем является задача о коммивояжёре.

Рассмотрим частный случай, когда все пункты расположены в линию (например, вдоль железнодорожного пути или автострады) (рис. 1). Тогда

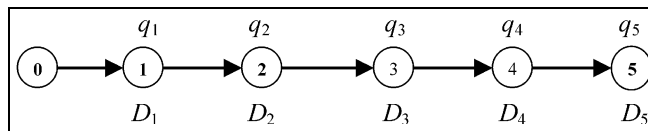


Рис. 1. Линейная транспортная схема



$l_{ij} = |q_j - q_i|$, где q_j — время переезда бригады из начального пункта 0 в пункт j .

Обозначим через i_k номер пункта, работа в котором выполняется в k -ю очередь. Пусть задана последовательность $\pi_k = (i_k, i_{k+1}, \dots, i_n)$, $k \leq n$, из $(n - k + 1)$ пунктов. Получим оценку снизу момента окончания работы в пункте i_k . Для этого обозначим через p максимальный номер пункта, не вошедшего в последовательность π_k (т. е. $p \neq i_j$, $j = \overline{k, n}$). Определим длину кратчайшего пути (т. е. время перемещения бригады из пункта 0 в пункт i_k), проходящего через все пункты за исключением пунктов последовательности π_k :

$$\lambda(\pi_k, i_k) = 2q_p - q_{i_k}. \quad (2)$$

Теперь можно получить оценку снизу момента окончания работы в пункте i_k :

$$t_{i_k} = \lambda(\pi_k, i_k) + \tau_{i_k} + \sum_{i \notin \pi_k} \tau_i. \quad (3)$$

Зная оценку (3), можно получить оценку снизу моментов завершения работ во всех пунктах последовательности π_k :

$$t_{i_j} = t_{i_k} + \sum_k^{j-1} |q_{i_q} - q_{i_{q+1}}| + \sum_{q=k+1}^j \tau_{i_q}, \quad j = \overline{k+1, n}. \quad (4)$$

Наконец, зная оценки снизу моментов окончания работ в каждом пункте, определяем оценки снизу критерия (1) на подмножестве решений, в которых работы в пунктах π_k выполняются в последнюю очередь (в заданной очередности)

$$C(\pi_k) = \max_{k \leq j \leq n} (t_{i_j} - D_{i_j}). \quad (5)$$

Применим *метод ветвей и границ* для решения задачи на основе полученных оценок.

1-й шаг. Множество всех решений разбивается на подмножества $\pi(i)$, $i = \overline{1, n}$, такие, что в подмножестве $\pi(i)$ работа в пункте i выполняется последней. Вычисляется оценка (5) для каждого подмножества.

2-й и последующие шаги выполняются по единой схеме. Рассматриваются все полученные подмножества (висячие вершины дерева ветвлений) и выбирается подмножество с минимальной оценкой, определяемое последовательностью $\pi_k = (i_k, i_{k+1}, \dots, i_n)$. Это подмножество разбивается на $(k - 1)$ подмножеств, определяемых последовательностями $\pi_{k-1}(i) = (i, i_k, i_{k+1}, \dots, i_n)$, где $i \neq i_k$, $j = \overline{k, n}$. Для каждого подмножества вычисляется оценка снизу по формуле (5).

Алгоритм заканчивается при получении подмножества (решения) $\pi_1 = (i_1, i_2, \dots, i_n)$ такого, что оценки снизу всех остальных подмножеств дерева ветвлений больше или равны $C(\pi_1)$. Полученное решение оптимально, поскольку $C(\pi_1) = \Phi(\pi_1)$, а оценки снизу критерия (1) для всех остальных подмножеств больше или равны $C(\pi_1)$.

Пример. Пусть имеются пять работ. Значения величин q_i , τ_i и D_i приведены в таблице.

i	1	2	3	4	5
q_i	1	2	3	4	5
τ_i	3	2	1	2	4
D_i	6	7	22	13	16

1-й шаг. Вычисляем оценку (5) для пяти подмножеств. Для этого по формулам (2), (3) и (5) определяем оценку снизу критерия (1) (при условии, что работа в пункте i выполняется последней; заметим, что $P = 5$):

$$\begin{aligned} t(1) &= 9 + 12 = 21, & C(1) &= 15, \\ t(2) &= 8 + 12 = 20, & C(2) &= 13, \\ t(3) &= 7 + 12 = 19, & C(3) &= -3, \\ t(4) &= 6 + 12 = 18, & C(4) &= 5, \\ t(5) &= 5 + 12 = 17, & C(5) &= 1. \end{aligned}$$

2-й шаг. Выбираем подмножество, определяемое последовательностью $\pi_5(3)$, имеющее минимальную оценку. Разбиваем его на четыре подмножества $\pi_4(i) = (i, 3)$, где $i = 1, 2, 4, 5$. Имеем:

$$\begin{aligned} C(1, 3) &= \max(20 - 6; 23 - 22) = 14, \\ C(2, 3) &= \max(19 - 7; 21 - 22) = 12, \\ C(4, 3) &= \max(17 - 13; 19 - 22) = 4, \\ C(5, 3) &= \max(16 - 16; 19 - 22) = 0. \end{aligned}$$

3-й шаг. Выбираем подмножество, определяемое последовательностью (5, 3). Разбиваем его на три подмножества $\pi_3(i) = (i, 5, 3)$, где $i = 1, 2, 4$.

Вычисляем оценки

$$\begin{aligned} C(1, 5, 3) &= \max(14 - 6; 22 - 16; 25 - 22) = 8, \\ C(2, 5, 3) &= \max(13 - 7; 20 - 16; 23 - 22) = 6, \\ C(4, 5, 3) &= \max(11 - 13; 16 - 16; 19 - 22) = 0. \end{aligned}$$

4-й шаг. Выбираем подмножество $\pi_3(4) = (4, 5, 3)$ с минимальной оценкой 0 и разбиваем его на два подмножества $\pi_2(i) = (i, 4, 5, 3)$, где $i = 1, 2$.

Вычисляем оценки

$$\begin{aligned} &C(2, 1, 4, 5, 3) = \\ &= \max(4 - 7; 8 - 6; 13 - 13; 18 - 16; 21 - 22) = 2, \\ &C(1, 2, 4, 5, 3) = \\ &= \max(4 - 6; 7 - 7; 11 - 13; 16 - 16; 19 - 22) = 0. \end{aligned}$$

5-й шаг. Выбираем подмножество, определяемое последовательностью $\pi_1 = (1, 2, 4, 5, 3)$ с минимальной оценкой. Последовательность π_1 явля-

ется решением, и оно оптимально (оценки всех остальных подмножеств больше, чем $C(1, 2, 4, 5, 3)$). Дерево ветвлений приведено на рис. 2, оценки подмножеств указаны в квадратных скобках у соответствующих вершин, жирным выделен путь, ведущий к оптимальному решению.

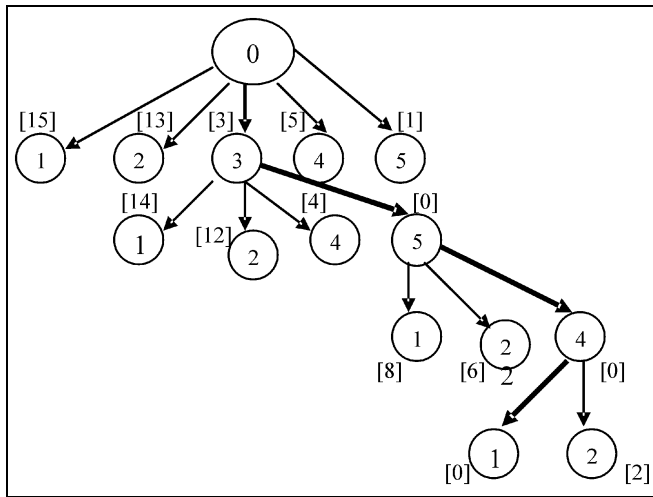


Рис. 2. Дерево ветвлений

Описанный подход можно применить к ряду других схем расположения пунктов. Пусть все пункты расположены вдоль кольцевой дороги (рис. 3).

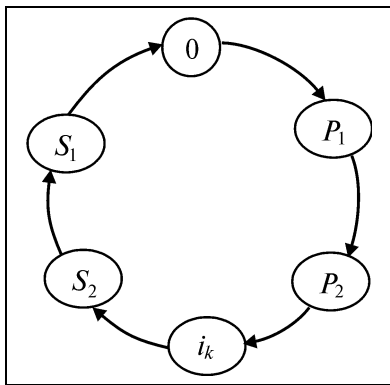


Рис. 3. Кольцевая транспортная схема

Обозначим через Q множество пунктов, не входящих в последовательность π_k , а через S_1 — максимальный номер среди пунктов $i \in Q$. В случае одностороннего движения оценки $\lambda(\pi_k, i_k)$ определяются следующими выражениями:

$$\lambda(\pi_k, i_k) = L + q_{i_k}, \text{ если } i_k \neq S_1;$$

$$\lambda(\pi_k, i_k) = q_{i_k}, \text{ если } i_k = S_1,$$

где L — длина кольцевой дороги.

В случае двустороннего движения оценка $\lambda(\pi_k, i_k)$ получается более сложным образом, поскольку возможны различные варианты выполнения работ (см. рис. 3). Для их перечисления введем обозначения: P_1 — номер пункта, первого после пункта 0 из всех пунктов множества Q (при движении по часовой стрелке); $P_2 \in Q$ — номер пункта, такой что $P_2 < i_k$, а между пунктами P_2 и i_k нет пунктов $i \in Q$; $S_2 \in Q$ — номер пункта, такой что $S_2 > i_k$ и между пунктами S_2 и i_k нет пункта $i \in Q$ (номера пунктов 0, P_1 , P_2 , S_1 и S_2 могут совпадать).

I вариант. Выполняем работы во всех пунктах $i \in Q$, двигаясь по часовой стрелке, и затем идем в пункт i_k также по часовой стрелке. Оценка $\lambda_1(\pi_k, i_k) = L + q_{i_k}$.

II вариант. Выполняем работы во всех пунктах $i \in Q$, двигаясь по часовой стрелке, и затем идём в пункт i_k против часовой стрелки. Оценка $\lambda_2(\pi_k, i_k) = 2q_{S_1} - q_{i_k}$.

III вариант. Выполняем работы во всех пунктах $i \in Q$ от P_1 до P_2 (по часовой стрелке), затем от пункта P_2 идем против часовой стрелки, выполняя работы во всех пунктах $i \in Q$ от S_1 до S_2 , и наконец, выполняем работу в пункте i_k . Оценка $\lambda_3(\pi_k, i_k) = L - q_{i_k} - 2q_{P_2}$.

IV вариант. Выполняем работы во всех пунктах $i \in Q$, двигаясь против часовой стрелки, и затем идем в пункт i_k также против часовой стрелки. Оценка $\lambda_4(\pi_k, i_k) = 2L - q_{i_k}$.

V вариант. Выполняем работы во всех пунктах $i \in Q$, двигаясь против часовой стрелки, а затем идем в пункт i_k по часовой стрелке. Оценка $\lambda_5(\pi_k, i_k) = L - q_{i_k} - 2q_{P_1}$.

VI вариант. Выполняем работы во всех пунктах $i \in Q$ от S_1 до S_2 , двигаясь против часовой стрелки, затем идем из пункта S_2 по часовой стрелке, выполняя работы в пунктах $i \in Q$ от P_1 до P_2 , и наконец выполняем работу в пункте i_k . Оценка $\lambda_6(\pi_k, i_k) = 2(L - q_{S_2}) + q_{i_k}$.

Сравнивая все шесть вариантов, выбираем вариант с минимальной оценкой $\lambda_6(\pi_k, i_k) = \min_{1 \leq i \leq 6} \lambda_i(\pi_k, i_k)$.

Оценка снизу критерия (1) получается по формулам (4) и (5).

Рассмотрим вариант линейной схемы, когда начальный пункт расположен между пунктами, в которых должны выполняться работы (рис. 4). Для определенности примем, что пункт i_k расположен справа от начального пункта.

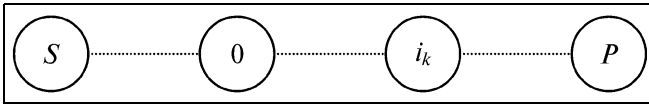


Рис. 4. Вариант линейной транспортной схемы

Обозначим через S самый удаленный пункт слева от начального пункта из всех $i \in Q$, а через P — самый удаленный пункт справа от начального пункта из всех $i \in Q$. В этом случае $\lambda(\pi_k, i_k) = 2q_s + 2q_p - q_{i_k}$. Оценка критерия (1) также получается по формулам (4) и (5).

2. ОПТИМИЗАЦИЯ КАЛЕНДАРНОГО ГРАФИКА ДЛЯ РАДИАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СХЕМЫ

Ранее мы рассмотрели алгоритм построения оптимальных планов перемещения бригады для линейной и кольцевой транспортных схем. Рассмотрим еще один частный случай, когда транспортная схема радиальная (рис. 5).

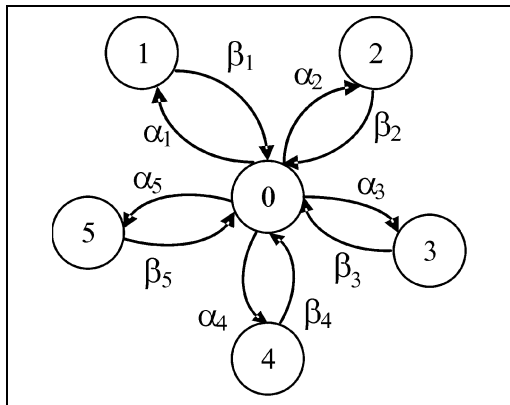


Рис. 5. Радиальная транспортная схема

Заметим, что время α_i перемещения из начального пункта в пункт i , где выполняется работа i , в общем случае не равно времени β_i возвращения в начальный пункт. Дело в том, что α_i может включать в себя время на подготовительные работы, подбор инструмента и т. д., а β_i — время на подготовку техники и инструмента к отъезду. Время перехода бригады от пункта i в пункт j $\lambda_{ij} = \beta_i + \alpha_j$.

Продолжительность выполнения всех операций одной бригадой

$$T = \sum_i (\alpha_i + \beta_i + \tau_i)$$

с учетом времени возвращения бригады в начальный пункт. Рассмотрим задачу определения очередности выполнения работ, минимизирующей критерий (1).

Пусть $\pi = (i_1, i_2, \dots, i_n)$ — очередность выполнения работ. Тогда

$$\begin{aligned} t_{i_k} &= \sum_{j=1}^{k-1} (\alpha_{i_j} + \beta_{i_j} + \tau_{i_j}) + \alpha_{i_k} + \tau_{i_k} = \\ &= \sum_{j=1}^k (\alpha_{i_j} + \beta_{i_j} + \tau_{i_j}) - \beta_{i_k}. \end{aligned}$$

Заметим, что критерий

$$\Phi(\pi) = \max_k (t_{i_k} - D_{i_k}) \geq t_{i_k} - D_{i_k}, \quad k = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Покажем, что оптимально выполнение операций в очередности возрастания величины $(\beta_i + D_i)$. Пусть в решении π имеет место $\beta_{i_q} + D_{i_q} > \beta_{i_{q+1}} + D_{i_{q+1}}$.

Поменяем очередность выполнения операций i_q и i_{q+1} , т. е. сначала выполним операцию i_{q+1} , а затем операцию i_q . Покажем, что в новом решении неравенства (6) будут выполняться при том же значении $\Phi(\pi)$.

Имеем

$$\begin{aligned} \Phi(\pi) &\geq \sum_{j=1}^{q+1} (\alpha_{i_j} + \beta_{i_j} + \tau_{i_j}) - (\beta_{i_{q+1}} + D_{i_{q+1}}) > \\ &> \sum_{j=1}^{q+1} (\alpha_{i_j} + \beta_{i_j} + \tau_{i_j}) - (\beta_{i_q} + D_{i_q}). \end{aligned}$$

Таким образом, всегда существует оптимальное решение, в котором операции выполняются в очередности возрастания (неубывания) величины $\beta_i + D_i$.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные постановки задач определения календарного графика работ бригад при различных транспортных схемах представляют собой первые попытки предложить методы оптимального распределения ресурсов на двойной сетевой модели. Полученные результаты могут послужить основой для решения более сложных задач.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сетевые модели и задачи управления / В. Н. Бурков, Б. Д. Ланда, С. Е. Ловецкий, А. И. Тейман, В. Н. Чернышев. — М.: Сов. радио, 1967.
2. Задачи распределения ресурсов в управлении проектами / П. С. Баркалов, В. Н. Бурков, А. В. Глаголев, В. Н. Колпачев. — М.: Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, 2002.

☎ (095) 334-79-00

E-mail: vlab17@bk.ru



ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ КОНТРОЛЛИНГА В УПРАВЛЕНИИ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬЮ ИНТЕГРИРОВАННЫХ КОМПАНИЙ.

Ч. I

А. В. Карибский, Д. Ю. Мишутин, Ю. Р. Шишорин

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

Рассмотрены новые задачи и методы контроллинга, применяемые в процессе финансово-экономического планирования и управления хозяйственной деятельностью интегрированных компаний.

ВВЕДЕНИЕ

В современных экономических условиях при управлении хозяйственной деятельностью предприятий реального сектора экономики все большее значение приобретает ориентация на высокоэффективные виды деятельности, обеспечение необходимых темпов роста, диверсификацию товарной продукции, повышение ее качества, позиционирование на перспективных сегментах рынка и другие жизненно важные направления развития. Определение и реализация стратегии и тактики развития относятся к числу сложных, трудоемких и трудноформализуемых задач планирования и управления. Если в условиях централизованной экономики план являлся прежде всего инструментом распределения ресурсов, то сегодня в процессе планирования предприятие должно рассматриваться как “открытая” технико-экономическая система, успех развития и функционирования которой в первую очередь определяется тем, насколько она удачно приспособляется к своему внешнему (экономическому, нормативно-законодательному, рыночному и др.) окружению, с учетом текущего состояния и имеющегося внутреннего потенциала [1]. Критерием качества управленческих решений при этом является конечный результат хозяйствования, вы-

ражаемый в росте количественных и улучшением качественных показателей, нацеленности на удовлетворение потребностей в продукции и услугах, повышении эффективности производства и управления. В то же время, методология, процедуры и практические методы планирования и управления в России во многом сохранили черты административно-командной системы, не полностью соответствуют принципам и современным условиям хозяйствования и, как следствие, нуждаются в существенном переосмыслении и развитии.

Современным, интенсивно развивающимся направлением в области теории и практики управления финансово-хозяйственной деятельности предприятий является контроллинг, находящийся на стыке теории принятия решений, математического моделирования, теории систем, информационного и организационного моделирования [2–5]. В рамках контроллинга достижения этих дисциплин направляются на решение взаимосвязанных задач экономического анализа хозяйственной деятельности, бухгалтерского учета, планирования, менеджмента и др. При этом, контроллинг не подменяет собой управления предприятием, а лишь переводит его на качественно новый уровень, т. е. является “механизмом саморегулирования на предприятии, обеспечивающим обратную связь в контуре управления” [6].



1. КОНТРОЛЛИНГ И БЮДЖЕТИРОВАНИЕ

В широком смысле термин *контроллинг* появился и начал употребляться в Германии (в США и Великобритании утвердилось понятие *управленческого учета*). В России интерес к этому научно-практическому направлению возник в 1990-х гг. в процессе перехода к рыночной экономике, что обуславливается следующими основными причинами:

- существенно повысилась нестабильность внешней среды технико-экономических систем и, как следствие, повысились требования к системе управления;
- задачи контроля прошлого уступили приоритет проблемам прогнозирования и анализа будущего;
- ужесточились требования к оперативности реакции на изменение состояния внешней среды, к уровню гибкости производства;
- возникла необходимость в перманентном мониторинге внешней и внутренней среды предприятия;
- усложнение технико-экономических систем и систем управления повысило значимость механизмов координации и формирования экономически безопасных управленческих решений;
- возникла необходимость в специализированных интегрированных системах информационного обеспечения процессов планирования и управления и др.

В процессе экономических преобразований многие российские предприятия получили новых собственников, и их внимание уже сосредотачивается не столько на вопросах приобретения новых активов, сколько на эффективном использовании имеющихся. Однако прошлые успехи новых руководителей в торговой или финансовой сферах не гарантируют успеха в области планирования и управления производством в реальном секторе экономики. В то же время, социально-экономическая ситуация и условия хозяйствования в стране постепенно стабилизируются, что обеспечивает возможность научно-обоснованного планирования, регулярного менеджмента и построения комплексной технологии управления, методологической базой которой является контроллинг.

К настоящему времени в России среди специалистов нет единого мнения о сущности и функциях контроллинга, терминология не устоялась и употребляются оба термина: *контроллинг* (как в Германии) и *управленческий учет* (как в США и Великобритании). Заметим, что термин *контроллинг* более информативный, поскольку передает характер этой современной идеологии и подра-

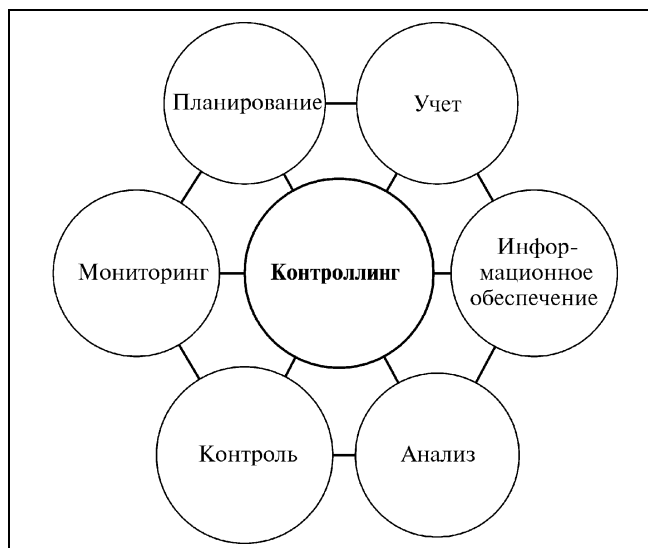


Рис. 1. Контроллинг как система управления бизнесом

зумевает не только учетные функции, но и весь спектр задач управления процессом достижения конечных результатов. Контроллинг (следуя работе [2]) выполняет функцию “управления управлением” и представляет собой синтез планирования, учета, контроля и экономического анализа. Он осуществляет информационную поддержку управленческих решений путем эффективного выбора организационного, математического и информационного обеспечения. При всей “расплывчатости” трактовки этого понятия, контроллинг, прежде всего, определяют как систему управления бизнесом, нацеленную на будущее, т. е. на долгосрочное эффективное функционирование компании, интегрирующую планирование, учет, контроль, анализ и координацию деятельности различных подразделений и служб для достижения оперативных и стратегических целей (рис. 1).

Исторически можно выделить различные этапы развития контроллинга, на протяжении которых сменялись приоритеты и концептуальные ориентиры. В 1930-е гг. превалировала концепция, ориентированная на систему учета затрат, калькулирования и расчета себестоимости. Происходила переориентация системы учета прошлого на будущее. На базе учетных данных создавались информационные системы поддержки управленческих решений, связанных с планированием и контролем деятельности предприятий. В 1970—1980-е гг. наступило понимание, что контроллинг предназначен не только для планирования, учета и анализа затрат, но и для учета и анализа результатов деятельности. Для этого периода характерна концепция контроллинга как системы информационного

обеспечения предприятия. В последние годы утвердилась концепция контроллинга как технологии управления различными областями финансово-хозяйственной деятельности предприятия, включая: определение целей деятельности; отражение этих целей в системе показателей; планирование деятельности и определение плановых (целевых) значений показателей; регулярный контроль (измерение) фактических значений показателей; анализ и выявление причин отклонений фактических значений показателей от плановых; принятие управленческих решений. Такая концепция контроллинга не предполагает новых знаний об экономике и хозяйственной деятельности предприятия, а ориентирует на интегрированное применение известного экономико-математического инструментария. В отличие от менеджмента контроллинг базируется на количественном анализе и в большей степени ориентирован на систему стоимостных показателей и планово-контрольных расчетов.

Особое место в системе финансово-экономических методов контроллинга занимает бюджетирование. Бюджетирование — это технология финансового планирования, оценки финансово-экономического положения, учета и контроля доходов и расходов на всех уровнях управления, позволяющая анализировать необходимые нормативы и показатели.

Бюджетирование позволяет согласовывать деятельность подразделений внутри компании и подчинить её стратегической цели. Для этого в рамках контроллинга применяются различные методы и формы деятельности, включая:

- прогнозирование будущих финансовых поступлений и расходов компании по структурным подразделениям, проектам и статьям бюджета (бизнес-сегментам компании);
- балансирование доходов и расходов, определение объемов кредиторской и дебиторской задолженности;
- функционально-объектная (дочерние общества, проекты) систематизация статей расходов, их нормативное (или иное) регулирование и ограничение;
- установление бюджетных критериев и приоритетов, позволяющих с учетом имеющихся и прогнозируемых ресурсов дифференцировать финансирование инвестиционных проектов в рамках как существующих производств, так и новых объектов;
- максимально возможное расширение доходной базы компании на основе комплексного функционально-объектного анализа и прогнозирования источников финансирования;

- внедрение системы бюджетных полномочий и четкого регламента их реализации;
- корректировка бюджета в связи с изменением внутренних и внешних обстоятельств;
- наблюдение, измерение и контроль за достижением плановых показателей.

Планируемые и достигнутые производственно-экономические показатели отражаются в соответствующих бюджетах компании. Бюджеты и их показатели помогают конкретизировать поставленные задачи, проанализировать состояние дел и реализовать управление по отклонениям. При этом под бюджетом понимается система плановых документов, в которых в стоимостной форме выражены изменения объемов и структуры активов головной компании, её дочерних и зависимых обществ, источников их формирования, финансовые результаты деятельности и движение платежных средств. Бюджет состоит из трех основных документов:

- плана прибылей и убытков, отражающего все доходы и расходы и характеризующего финансовые результаты;
- плана движения платежных средств, отражающего прогноз поступлений и платежей по видам деятельности, структуру финансовых потоков;
- прогнозного баланса, характеризующего финансовое состояние и отражающего изменения в структуре активов и пассивов.

В целом все виды бюджетов, применяемые в финансовом планировании, делятся на три основные группы и охватывают направления операционной, инвестиционной и финансовой деятельности. Основные бюджеты являются главным инструментом планирования бизнес-процессов управления финансами, оценки финансового состояния бизнеса, а операционные и вспомогательные бюджеты необходимы для их составления.

Подготовка, анализ, корректировка и утверждение бюджетов представляют собой единый процесс, открытый к изменениям и построенный на основе модельных расчетов и информации, скоординированной между подразделениями компании.

Принципы, очередность и этапность реализации этого процесса зависят от внутренней организации бизнеса (порядок принятия основных управленческих решений, организационная структура, распределение функций и задач по узлам управления, корпоративная логистика операций, схема товарных и финансовых потоков и т. п.).

Чем сложнее структура компании и динамичнее экономическая среда, в рамках которой она ведет свою деятельность, тем больший объем информации требуется для выработки эффективных решений. Оперативная обработка большого коли-



чества информации, собираемой в процессе бюджетирования и используемой для управления бизнесом, возможна только при наличии соответствующего инструментария, включающего в себя организационные, математические и информационные модели, учитывающие специфику конкретной технико-экономической системы.

Рассмотрим финансово-экономические модели и методы контроллинга, применяемые при формировании и корректировке бюджета холдинговой компании на примере вертикально-интегрированной нефтяной компании (ВИНК).

2. ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ И МЕТОДЫ КОНТРОЛЛИНГА

Устойчивая тенденция развития мировой экономики проявляется в организации крупномасштабных технико-экономических систем в виде вертикально-интегрированных компаний, яркими представителями которых служат ВИНК, объеди-

няющие под началом головной компании предприятия всех звеньев производственно-технологического цикла — от добычи первичного сырья до его переработки и сбыта [7]. Корпоративная логистика бизнес-процессов ВИНК, отражающая в общем виде хозяйственные взаимоотношения головной компании и дочерних обществ и определяющая “структуру” бюджетов, представлена на рис. 2.

Сложная иерархия структурного построения ВИНК, наличие большого числа производственно-коммерческих элементов и их взаимосвязей, динамичность процессов ее адаптации к экономическому окружению и другие факторы предъявляют повышенные требования к организации и обеспечению процессов планирования и управления на основе соответствующих финансово-экономических моделей и методов контроллинга.

Характерными особенностями финансово-экономического планирования ВИНК в современных условиях являются:

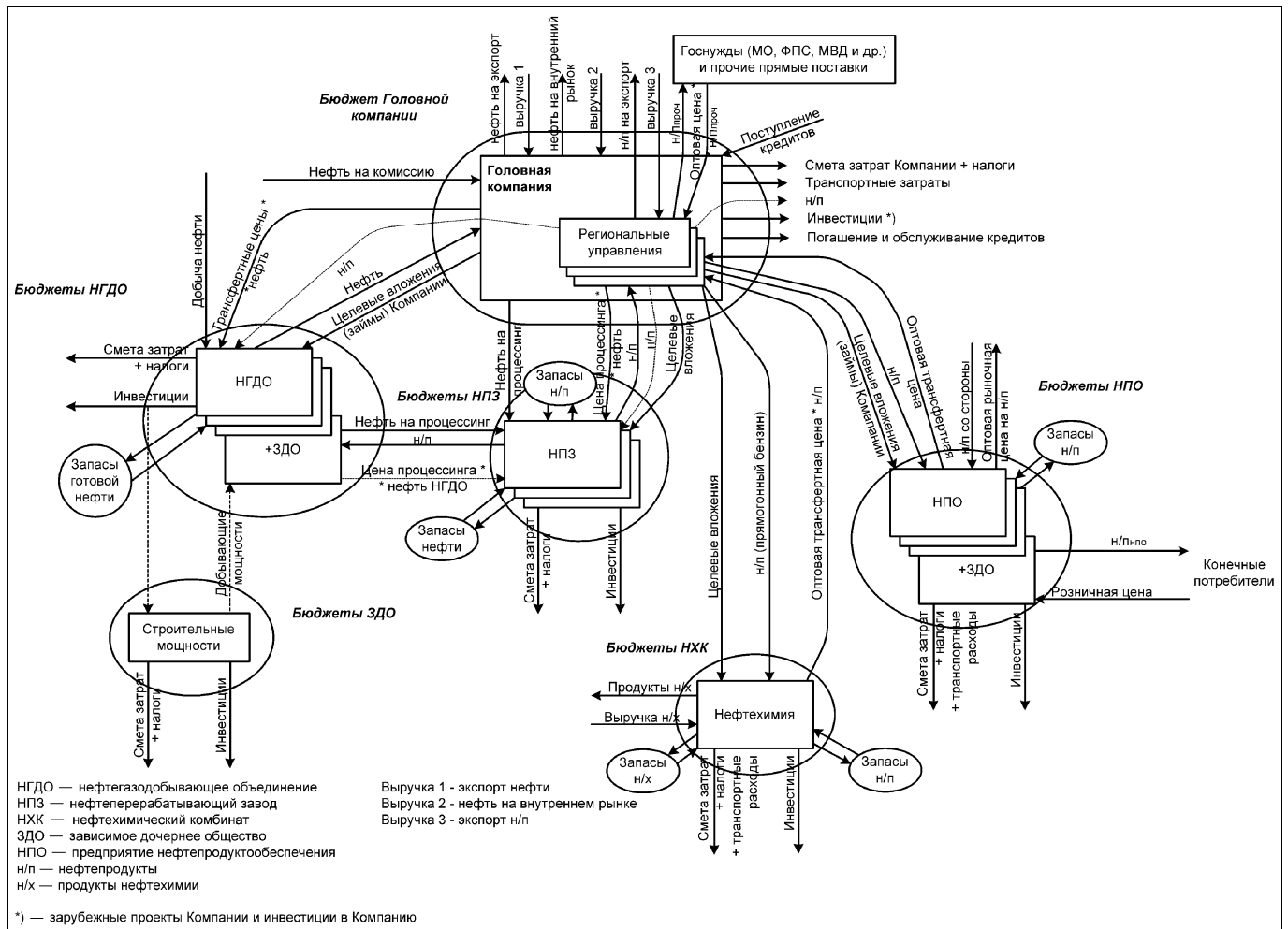


Рис. 2. Корпоративная логистика бизнес-процессов ВИНК

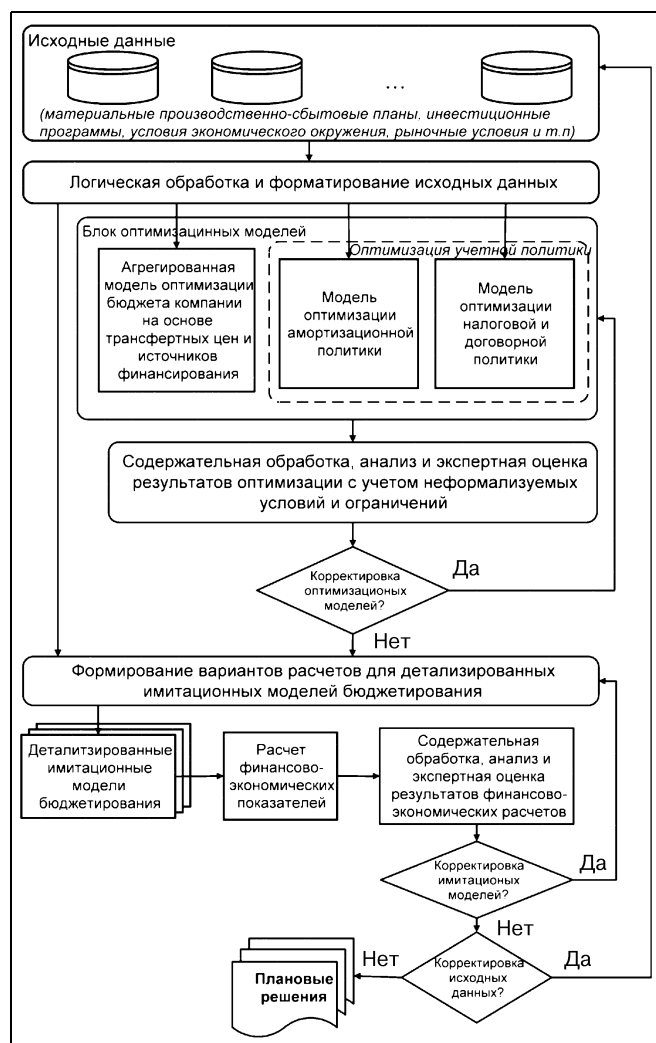


Рис. 3. Комплекс взаимосвязанных моделей контроллинга

- наличие большого числа взаимосвязанных территориально распределенных технико-экономических подсистем, функционирующих в различных экономических (в том числе и налоговых) условиях;
- иерархичность системы бюджетных документов и широкий спектр контролируемых плановых показателей;
- необходимость динамичной адаптации планов к изменяющимся условиям их реализации и оперативной корректировки бюджетных документов;
- гибкость учетной политики, включая выбор методов амортизации и финансовых условий заключаемых договоров;
- значительный объем внутрикорпоративных финансовых потоков и сложная организация структуры источников финансирования опе-

рационной и инвестиционной деятельности, включая трансфертное ценообразование и др.

Перечисленные и другие факторы существенно повышают сложность процессов формирования и согласования управленческих решений, однако, в то же время, открывают достаточно широкие возможности применения современных информационных технологий, методов математического моделирования и оптимизации в области финансово-экономического планирования ВИНК.

Компьютерная технология, обеспечивающая решение финансово-экономических задач контроллинга, должна быть основана на применении комплекса взаимосвязанных оптимизационных, имитационных и расчетных моделей (рис. 3).

В качестве исходных данных для решения рассматриваемых финансово-экономических задач контроллинга выступают: материальные балансы, условия налогового окружения, требования нормативно-законодательной базы, планы капитальных вложений, результаты маркетинговых исследований и др. На практике необходимая информация может содержаться как в электронном виде в локальных базах данных (см. рис. 3), так и на бумажных носителях или автоматизированных рабочих местах в узлах управления.

Поэтому логическая обработка и форматирование исходных данных для дальнейших плановых расчетов предполагают создание соответствующей системы сбора и обработки исходной информации, состав и конфигурация которой зависят от конкретной организационной структуры, принятой в компании технологии плановых расчетов, уровня автоматизации и корпоративных стандартов в области информатизации. Пример разработки и реализации такой системы для крупной ВИНК рассмотрен в работе [8].

На основе подготовленных исходных данных с помощью агрегированной оптимизационной модели (см. рис. 3) определяются трансфертные цены и источники финансирования дочерних обществ, включая займы, целевые вложения, долевое участие, инвестиционные и коммерческие кредиты, максимизирующие консолидированный поток платежных средств холдинга. Принципы построения такой модели для ВИНК, методы формализации и способы решения задачи оптимизации рассмотрены в работе [9].

Среди финансово-экономических методов контроллинга на современном этапе выделяются методы налогового планирования, суть которых заключается в эффективном применении налогоплательщиком допустимых законом способов минимизации своих налоговых обязательств [10]. Многие из этих способов базируются на использова-



нии законодательно установленных альтернатив при формировании учетной политики (выбор метода определения выручки по оплате или по отгрузке, выбор способа амортизации, выбор формы и схемы организации договоров купли/продажи и др.).

Так, например, применение метода определения выручки по оплате позволяет отсрочить уплату налоговых платежей, что целесообразно при договорных отношениях, основанных на кредитовании покупателей производимой продукции (услуг). При нелинейном методе амортизации фактически можно отсрочить уплату налога на прибыль путем большего списания стоимости объекта в первые периоды эксплуатации основных средств. Если же в первые периоды эксплуатации объекта возникают убытки, то более выгодно применение линейного метода амортизации.

В силу изложенного, в состав предлагаемого комплекса моделей (см. рис. 3) включены соответствующие модели оптимизации амортизационной, налоговой и договорной политики. Модель оптимизации амортизационной политики позволяет выбрать (из числа законодательно разрешенных) экономически эффективные методы начисления амортизации основных средств компании. Оптимизация налоговой и договорной политики предполагает формирование рациональной структуры налоговых платежей и определение условий договоров с контрагентами в рамках действующей нормативно-законодательной базы и общепринятых норм деловой практики. В основе построения этих моделей лежат следующие соображения.

С предоставлением российским предприятиям в 1998 г. формального права выбора амортизационной политики у них впервые появились возможности оптимизации своей прибыли на долгосрочной перспективе, в частности, при принятии решений о целесообразности реализации своих инвестиционных проектов [11]. В последующем Налоговый Кодекс РФ [12, 13] закрепил это право, предоставив предприятию уже реальную возможность формирования собственной амортизационной политики. Так, теперь при формировании управленческих решений налогоплательщик вправе самостоятельно выбирать линейный или нелинейный метод амортизации для каждого объекта основных средств, срок его полезного использования и коэффициент ускорения амортизационных отчислений.

При нелинейном методе, как уже отмечалось, можно отсрочить уплату налога на прибыль путем большего списания стоимости объекта в первые периоды эксплуатации основного средства. Однако достижение наиболее полного эффекта при нелинейном методе произойдет только в том случае,

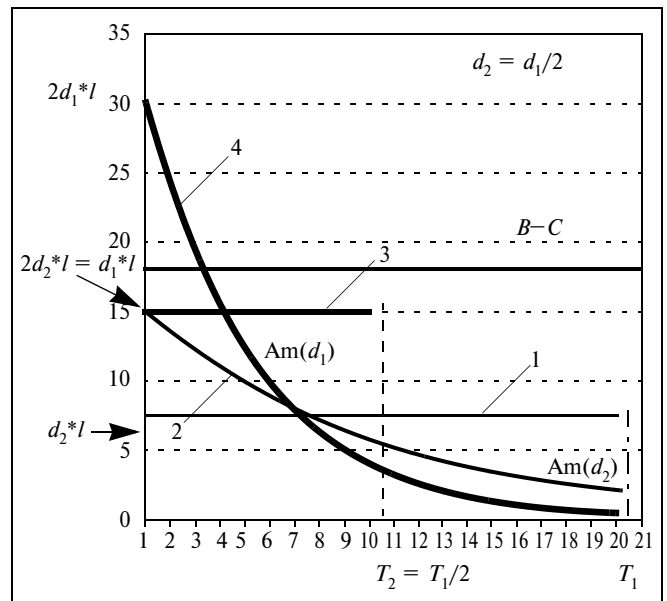


Рис. 4. Иллюстрация выбора сроков полезного использования и методов амортизации

если предприятие получает налогооблагаемую прибыль в течение всего срока эксплуатации объекта. В этом случае амортизационные отчисления, начисленные в соответствии с нелинейным методом, позволяют ускоренно уменьшить среднегодовую стоимость имущества организации и тем самым увеличить финансовые ресурсы за счет дополнительного уменьшения налога на имущество.

С другой стороны, такой учет амортизации ведет к завышению себестоимости в первое время эксплуатации объектов и, как следствие, к уменьшению прибыли организации, что может оказаться нежелательным для акционеров из-за сокращения выплат им дивидендов. Кроме того, если прибыль компании недостаточно велика, то возможна ситуация, когда может оказаться невыгодным применение нелинейного метода списания. Поясним это на примере, проиллюстрированном на рис. 4. Имеется объект основных средств с первоначальной стоимостью I , для которого выбираются срок полезного использования из двух возможных — T_1 и T_2 , причем $T_2 = T_1/2$, и метод амортизации — линейный или ускоренный нелинейный (с коэффициентом ускорения 2); d_1 и d_2 — нормы равномерной амортизации, обратные значениям T_1 и T_2 ; $Am(d_1)$ и $Am(d_2)$ — графики изменения амортизационных отчислений по нелинейному методу списания при нормах равномерной амортизации d_1 и d_2 , соответственно.

Пусть валовой доход, приносимый от эксплуатации объекта (прибыли до уплаты процентов и

амортизации¹) равен $B - C$, где B — выручка от реализации продукции, C — себестоимость ее производства (без амортизации), постоянна во времени. Пусть для срока полезного использования T_1 при любом из способов амортизации объект приносит прибыль и амортизационные отчисления описываются кривыми 1 и 2 для линейного и нелинейного списания соответственно. Пусть теперь при выборе срока полезного использования T_2 объект приносит прибыль при линейном способе списания, а при выборе нелинейного — убытки на первых годах функционирования t^* , при этом амортизационные отчисления описываются кривыми 3 и 4, соответственно. Данная ситуация описывается следующими соотношениями:

$$\begin{cases} d_1 I < B - C \\ Am(d_1, t \leq t^*) > B - C \\ Am(d_1, t \geq t^*) \leq B - C; \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} Am(d_1, t) < B - C \\ d_2 I < B - C, \end{cases} \quad (2)$$

т. е. может оказаться, что при выполнении группы условий (1) и определенном соотношении величин d_1 , I , B и C нелинейный ускоренный метод по критерию накопленного дисконтированного потока по операционной деятельности будет менее эффективным по сравнению с линейным методом, так как предприятие несет значительные убытки на первых шагах горизонта расчета $[1, t^*]$. В то же время при норме амортизации $d_2 < d_1$ и выполнении условий (2) компания будет иметь прибыль на всем горизонте расчета, а размер налога на прибыль будет ниже, чем при линейном методе амортизации — т. е. выбор ускоренного нелинейного списания в этом случае более выгоден.

Заметим, что при выборе нелинейного метода начисления амортизации в российских условиях следует учитывать известный эффект, связанный с возможными различиями налогового и бухгалтерского учетов, при которых алгоритмы расчета остаточной стоимости основных средств при определении налогооблагаемых баз для налогов на прибыль и имущество не совпадают [13]. Это приводит к тому, что устранение различий в налоговом и бухгалтерском учетах основных средства в России, как это предусмотрено новой главой Налогового Кодекса [14], даст дополнительный эффект

в чистой прибыли $\Delta\text{ЧП}_t$, который рассчитывается по формуле [15]:

$$\begin{aligned} \Delta\text{ЧП}_t &= -\frac{1}{13} (1-p)\alpha \sum_{i=0}^{12} (I_{t_i}^{\text{пп,ост}} - I_{t_i}^{\text{им,ост}}) = \\ &= -(1-p)\alpha \Delta_t = -(1-p)\Delta\text{НИ}_t \end{aligned} \quad (3)$$

где p — ставка налога на прибыль; α — ставка налога на имущество; $I_{t_i}^{\text{пп,ост}}$ и $I_{t_i}^{\text{им,ост}}$ — текущие остаточные стоимости объекта в t_i -й месяц, исчисленные соответственно по налоговому и бухгалтерскому методам; $\Delta_t = \bar{I}_t^{\text{пп,ост}} - \bar{I}_t^{\text{им,ост}}$ — разница между среднегодовыми остаточными стоимостями $\bar{I}_t^{\text{им,ост}}$ и $\bar{I}_t^{\text{пп,ост}}$ в t -м году, рассчитанными соответственно по налоговому и бухгалтерскому методам, НИ_t — налог на имущество. Из формулы (3) видно, что при устранении различий в налоговом и бухгалтерском учетах основных средств компания в случае выбора нелинейного метода списания может получить кратковременное (на 1–2 года) и незначительное снижение налога на имущество ($\Delta\text{НИ}_t < 0$) и, следовательно, увеличение своей чистой прибыли на величину $\Delta\text{ЧП}_t > 0$. Однако в последующем налоговая нагрузка возрастет ($\Delta\text{НИ}_t > 0$) и дополнительный эффект, равный “дополнительному” налогу на имущество, уменьшенному на ставку налога на прибыль, станет отрицательным ($\Delta\text{ЧП}_t < 0$). Отметим, что дополнительный эффект (3) отсутствует ($\Delta\text{ЧП}_t = 0$) в случае выбора линейного метода амортизации.

Выбор способа организации договоров при формировании налоговой и договорной политики (см. рис. 3) отражается на степени финансовой защищенности поставщика (покупателя) продукции. В современной деловой практике принято пять основных способов оплаты [15]:

- предоплата — когда поставщик не осуществляет поставку до тех пор, пока покупатель не оплатит товар;
- аккредитив, эмитированный банком от имени покупателя и гарантирующий оплату поставщику по предъявлении документов об отгрузке продукции, т. е. банк фактически заменяет кредит продавца собственным кредитом;
- тратта (переводной вексель) — безусловное обязательство покупателя оплатить товар по предъявлении векселя (в отличие от аккредитива — без банковской гарантии);
- консигнация (договор комиссии) — когда поставщик предоставляет товар покупателю комисси-

¹ Показатель EBITDA согласно Международным стандартам (GAAP US, IAS и т. д.)

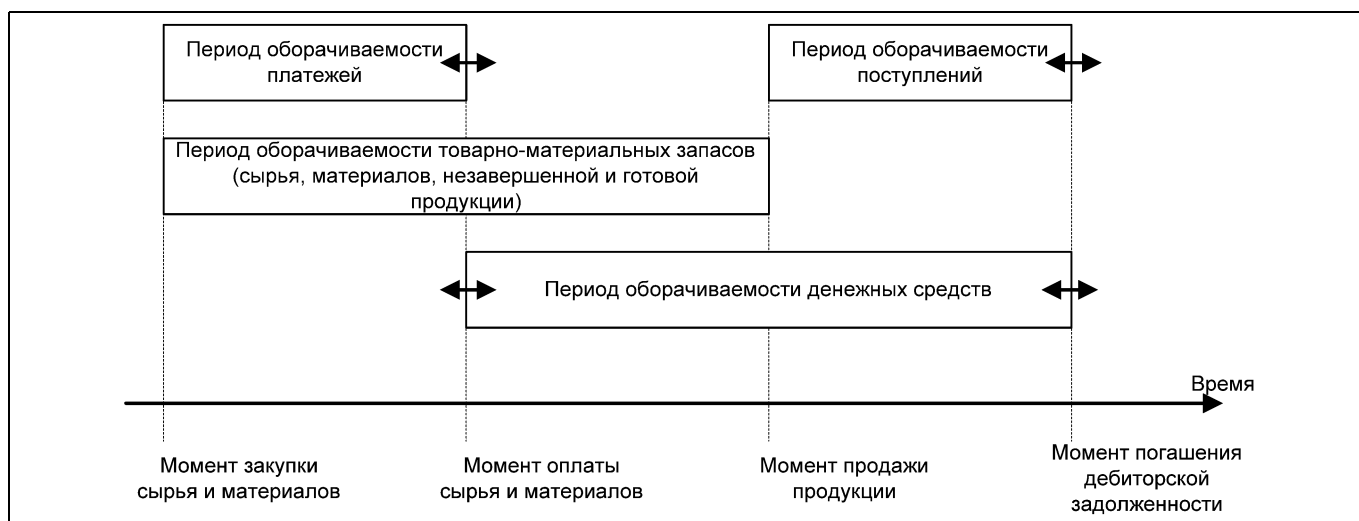


Рис. 5. Типовой цикл оборотного капитала

онеру, который не платит за него до тех пор, пока не продаст третьей стороне;

- сделка с открытым счетом (противоположность сделке на условиях предоплаты), согласно которой поставщик поставяет товар и ожидает оплаты на заранее оговоренных условиях.

Выбор тех или иных договорных условий оплаты существенно влияет на финансовые потоки, возникающие в процессе текущей хозяйственной деятельности и выражающиеся через счета оборотного капитала. При этом, отметим, оборотный капитал представляет собой важнейший динамично изменяющийся ресурс, возникающий в результате операционной деятельности и инвестированного в нее капитала. На рис. 5 отражен типовой цикл финансового потока оборотного капитала. Видно, что возможность приобретения сырья с отсрочкой оплаты обеспечивает компании задержку оттока денежных средств, что позволяет использовать их для снижения объема долговых обязательств или краткосрочных инвестиций. Изменение схем организации договоров продажи также влияет на период оборачиваемости поступлений. Сокращение периода оборачиваемости поступлений и товарно-материальных запасов (сырья, материалов, незавершенной и готовой продукции) и (или) увеличение периода оборачиваемости платежей и товарно-материальных запасов приводит к сокращению периода оборачиваемости денежных средств, что позитивно влияет на прибыльность компании.

Таким образом, решение обсуждаемых финансово-экономических задач контроллинга с помощью соответствующих оптимизационных моделей комплекса, представленного на рис. 3, служит также эффективным средством управления оборотным капиталом.

Выходные результаты блока оптимизационных моделей (см. рис. 3) подвергаются содержательной обработке, анализу и экспертной оценке лица, принимающего решение (ЛПР) с учетом неформализуемых критериев. Далее они используются либо для корректировки моделей оптимизации, либо, наряду с первичными исходными данными, для формирования сценарных условий и вариантов расчетов в процессе бюджетирования.

Модели бюджетирования (см. рис. 3), на базе которых осуществляются основные плановые расчеты, представляют собой детализированные имитационные модели финансовых потоков, возникающих в процессе реализации материальных планов в заданных сценарных условиях.

Совокупность взаимосвязанных детализированных моделей ВИНК включает в себя модели: бюджета головной компании, бюджеты дочерних обществ (нефтегазодобывающие объединения, нефтеперерабатывающие заводы, предприятия нефтепродуктообеспечения и т. д.), консолидированного бюджета холдинговой группы в целом.

На основе имитационных экспериментов с помощью расчетных моделей определяются финансово-экономические показатели плановых решений (поток платежей, налоговые отчисления, чистый дисконтированный доход, чистая прибыль, рентабельность, ликвидность и др.).

После содержательной обработки, анализа и экспертной оценки полученных показателей ЛПР принимает решение о корректировке имитационных моделей и следующем имитационном эксперименте, о корректировке исходных данных (например, материального баланса или плана капитальных вложений) и повторении цикла расчетов либо о подготовке и оформлении полученных пла-

новых решений в виде системы регламентных документов, отражающих и характеризующих бюджеты функциональных элементов и холдинговой компании в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В первой части статьи описаны некоторые финансово-экономические методы контроллинга, применяемые для решения задач планирования и управления хозяйственной деятельностью интегрированных компаний.

Для их практической реализации предложено применять комплекс взаимосвязанных оптимизационных, имитационных и расчетных моделей, включая: модели оптимизации амортизационной, налоговой и договорной политики, имитационные модели бюджетного планирования; расчетные модели формирования финансово-экономических показателей плановых решений.

Принципы построения и методы формализованного описания предложенных моделей будут рассмотрены во второй части статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Карибский А. В., Шестаков Н. В.* Модели и методы управления бизнес-процессами развития технико-экономических систем // Автоматика и телемеханика. — 1999. — № 6. — С. 117—129.
2. *Хан Д.* Планирование и контроль: концепция контроллинга. — М.: Финансы и статистика, 1997. — 800 с.

3. *Дайле А.* Практика контроллинга. — М.: Финансы и статистика, 2001.
4. *Мальшева Л.* Контроллинг на предприятии [Электронный ресурс] // Открытые системы. — 2000. — № 01, 02. — Электрон. журн./http://www.osp.ru/os/2000/01-02/026.htm.
5. *Виноградов С. Л.* Контроллинг как технология менеджмента [Электронный ресурс]/GAAP.RU — http://www.gaap.ru/biblio/mngacc/controlling/pv-007.htm.
6. *Данилочкина Н.* Контроллинг — сервисная служба для менеджера // Управление компанией. — 2001. № 2 (3). — С. 16—23.
7. *Алафинов С. В.* Прогнозирование и планирование в транснациональной нефтяной компании. — М.: Дело, 1999.
8. *Мишутин Д. Ю.* Разработка информационной технологии формирования бюджета компании // Управление большими системами: Сб. тр. молодых ученых. — М.: ИПУ РАН, 2003. — Вып. 4. — С. 78—82.
9. *Карибский А. В., Рьяльская Т. В., Шишорин Ю. Р.* Моделирование и оптимизация внутрикорпоративных источников финансирования // Региональная экономика в информационном измерении: модели, оценки, прогнозы: Сб. научн. тр. — М.; Барнаул: Бизнес-Юнитек, 2003. — С. 134—157.
10. *Джаарбеков С. М.* Методы и схемы оптимизации налогообложения. — М.: МЦФЭР, 2002.
11. *Саприцкий Э., Руднев Ю.* Новые возможности оптимизации амортизационной политики предприятия // Инвестиции в России. — 1998. — 4. — С. 35—36.
12. *Налоговый кодекс РФ*, ч. вторая, разд. VIII, гл. 25, ст. 259.
13. *Там же*, ст. 246—333.
14. *Там же*, гл. 30.
15. *Буш Дж., Джонстон Д.* Управление финансами в международной нефтяной компании. — М.: ЗАО “Олимп-Бизнес”, 2003.

☎ (095) 334-90-41

E-mail: ysh@petrocom.ipu.rssi.ru

mishutin@petrocom.ipu.rssi.ru



ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Статья представляется в редакцию по электронной почте или в одном экземпляре на бумаге, к которому необходимо приложить дискету с текстом, идентичным напечатанному. Аннотация, название статьи и фамилии авторов желательно перевести на английский язык. Объем оригинальной статьи не должен превышать 12, обзорной — 18 страниц текста. Текст печатается через полтора интервала с одной стороны бумаги формата А4, страницы нумеруются. В электронной форме текст должен быть набран в редакторе не ниже Word'97 шрифтом Times New Roman, 12 пунктов.

Рисунки должны иметь расширение, совместимое с Word 97 (Рисунок MS Word (толщина линий — не менее 3 пкс), редакторы CorelDraw, Photoshop, Illustrator и т. п.).

Фотографии должны быть предельно четкими, на глянцевой бумаге или в формате TIFF с разрешением 300 dpi (цветовая кодировка CMYK). Все буквенные обозначения на рисунках необходимо пояснить в основном или подрисовочном текстах.

Математические формулы следует набирать в формульном редакторе MathTypes 5.0 Equation или MS Equation 3.0, греческие и русские буквы набирать прямым шрифтом, латинские — курсивом. Нумеровать следует только те формулы, на которые есть ссылки в последующем изложении.

Список литературы составляется в порядке цитирования и оформляется в соответствии с действующим ГОСТ. Ссылки на литературу в тексте отмечаются порядковыми номерами в квадратных скобках.

Перед заголовком статьи желательно указать индекс УДК, а в ее конце — номер контактного телефона и электронный адрес..





ПРОИЗВОДСТВО, ЛЕГАЛЬНОЕ И НЕЛЕГАЛЬНОЕ ПОТРЕБЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ (ДИНАМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ)

Ф. Т. Алескеров^{(1), (2)}, Б. М. Шит⁽³⁾

⁽¹⁾ Высшая школа экономики, г. Москва;

⁽²⁾ Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова, г. Москва;

⁽³⁾ Институт энергетики Академии наук Республики Молдова, г. Кишинев

Предложен подход к анализу поведения энергетической отрасли в разные периоды развития экономики. Исследована взаимосвязь производства электроэнергии, ее потребления и развития экономики в целом с учетом коммерческих потерь.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема уменьшения потерь электроэнергии весьма актуальна [1–11]. В электроэнергетике она решается путем технико-экономической оптимизации функции затрат с учетом основных влияющих факторов. Потери электрической энергии можно классифицировать следующим образом:

- некоммерческие потери в электрических сетях;
- коммерческие потери в электрических сетях;
- потери из-за неэффективного использования электрической энергии в экономике.

К некоммерческим потерям относятся неизбежные технические потери в линиях электропередач, а также расход электроэнергии на собственные нужды источников электроэнергии. Однако последний нередко не выделяется производителями отдельно, а учитывается как одна из составляющих технических потерь, что связано с особенностями правил составления баланса электроэнергии.

В коммерческие потери входят [3]:

- составляющая, обусловленная различными видами хищений электроэнергии;
- недоучет электроэнергии, обусловленный несовершенством методик и систем автоматизированного учета, а также погрешностями измерительных приборов;
- неоплата за потребленную энергию;
- ошибки при выставлении счетов.

Структура коммерческих потерь зависит, в основном, от [3]:

- погрешностей системы учета электроэнергии (как с технической, так и с организационной стороны);
- неодновременности снятия показаний счетчика электроэнергии, поступившей в сеть и отпущенной многочисленным потребителям;
- способа формирования “полезного отпуска” электроэнергии;
- всех видов неучтенной электроэнергии, в том числе и непосредственных ее хищений потребителями.

Практически во всех странах с развивающейся экономикой наблюдается значительный объем потерь электроэнергии, в том числе и их коммерческой составляющей. Например, на Украине в 2003 г. потеряно 31,898 млрд. кВт·ч, или 19,57 % транспортируемой электроэнергии, из них 14,16 % (23,076 млрд. кВт·ч) составляют технические потери, 5,41 % (8,821 млрд. кВт·ч) — коммерческие [12]. В Турции общие (коммерческие и некоммерческие) потери электроэнергии в 1998 г. составили 19,5 % от объема произведенной электроэнергии, к 2000 г. объем потерь увеличился до 26,3 % [13], в Индии в 2002–2003 гг. общие потери электроэнергии составили 40,93 %, прогноз потерь на 2004–2005 годы составляет 37,23 % [14], в Пакистане потери в 2002–2003 гг. составили 40,78–41,1 % [15]. Подобная ситуация характерна и для других стран с переходной экономикой. При этом данный уровень потерь значительно превышает средний

уровень потерь в странах с развитой экономикой. Уровень фактических потерь большинства энергокомпаний развитых стран Европы и Америки колеблется от 8 до 12 % (в США) и от 4 до 6 % (в территориально небольших западноевропейских странах) [12].

В Российской Федерации растут абсолютные и относительные потери электроэнергии при одновременном уменьшении отпуска в сеть. Так, с 1994 по 1998 г. относительные потери электроэнергии в сетях АО-энерго России увеличились с 8,74 до 10,81 %. В электрических сетях России в целом относительные потери выросли с 10,09 до 12,22 % [6].

Например, ОАО «Татэнерго» в 2002 г. только в распределительных сетях напряжением 10–0,4 кВ потеряло около 305 млн. кВт·ч. электроэнергии на 150 млн. руб. В некоторых энергосистемах относительные потери достигли 15–20 %, а в отдельных распределительных сетях — 30–50 % [16]. В Астраханьэнерго, Вологдаэнерго, Тверьэнерго, Курганэнерго, Читаэнерго, Амурэнерго и Хабаровскэнерго потери в 2002 г. составляли от 7,81 (Вологдаэнерго) до 23,63 % (Хабаровскэнерго) [17]. Причиной названы несанкционированные подключения, что особенно характерно для сельской местности, частного сектора городов, а также малых и средних предприятий. В итоге потери от хищений энергии составили 30 % от общего уровня ее потерь [18].

В некоторых работах (см., например, [19]) утверждается, что часть из перечисленных составляющих коммерческих потерь (например, хищения электроэнергии) не поддается формализации и количественному определению. В связи с этим возникает задача анализа поведения энергетической отрасли в разные периоды развития экономики, производства электроэнергии, ее потребления, развития экономики в целом с учетом коммерческих потерь. Одному из возможных решений этой задачи посвящена данная статья.

1. ОПИСАНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

В предлагаемой модели рассматривается взаимосвязь между процессами, происходящими в экономике и энергетике, с учетом коммерческой составляющей потерь электроэнергии. В модель включены следующие показатели, характеризующие энергетику: объем легального потребления электроэнергии, объем нелегального потребления электроэнергии, объем производства электроэнергии и показатель, характеризующий состояние экономики, — внутренний валовой продукт (ВВП). Объем производства электроэнергии представляет собой сумму объемов произведенной и импорти-

руемой электроэнергии, легальное потребление электроэнергии включает в себя сумму экспортированной и потребленной энергий за вычетом общей суммы потерь. Данные о нелегальном потреблении электроэнергии ни в одном официальном источнике не выделяются в отдельную графу. Поэтому коммерческие потери вычислялись как линейная комбинация потерь в сетях, расхода на производственные нужды энергосистем и расхода на собственные нужды электростанций, взятых с некоторыми весовыми коэффициентами.

Для возможности совместного оперирования всеми перечисленными величинами, имеющими различную природу, они рассматриваются в относительных единицах, т. е. рассматриваются значения каждой величины по отношению к ее значению в каком-либо определенном году, который полагается базовым.

Предполагается, что скорость роста мощностей по производству электроэнергии пропорциональна росту ВВП¹: $\dot{S}^p = \alpha_{11} \dot{Y}$, где α_{11} — некоторый коэффициент.

Интегрируя данное уравнение, получаем:

$$S^p = \beta_{10} + \alpha_{11} Y, \quad (1)$$

где $\beta_{10} = \text{const}$.

Рост объема легального потребления зависит от состояния экономики (значения ВВП Y), а также от текущего объема легальной C^l и нелегальной C^{il} составляющих потребления электроэнергии. В свою очередь, изменение объема нелегального потребления электроэнергии также зависит от текущих значений ВВП, объемов легального и нелегального потребления электроэнергии. Исходя из этого, получаем следующие уравнения, связывающие производство и потребление электроэнергии:

$$\begin{cases} \dot{C}^l = a_{20} + a_{21} S^p + a_{22} C^l + a_{23} C^{il} \\ \dot{C}^{il} = a_{30} + a_{31} S^p + a_{32} C^l + a_{33} C^{il}, \end{cases} \quad (2)$$

где a_{ij} — коэффициенты.

Подставив уравнение (1) в систему уравнений (2) и переобозначив коэффициенты, получим:

$$\begin{cases} \dot{C}^l = b_{20} + b_{21} C^p + b_{22} C^{il} + b_{23} Y^{il} \\ \dot{C}^{il} = b_{30} + b_{31} C^p + b_{32} C^{il} + b_{33} Y^{il}, \end{cases} \quad (3)$$

¹ Детальное исследование этого вопроса только для легального потребления см. в работах [20, 21].



Решение системы уравнений (3) относительно объема легального потребления C^l приводит к уравнению:

$$\ddot{C}^l + a_{11}\dot{C}^l + a_{12}C^l = a_{13}Y + a_{14}\dot{Y} + a_{15}, \quad (4)$$

где $a_{11} = -(b_{21} + b_{32})$; $a_{12} = b_{32}b_{21} - b_{22}b_{31}$; $a_{13} = b_{22}b_{33} - b_{32}b_{23}$; $a_{14} = b_{23}$; $a_{15} = b_{22}b_{30} - b_{32}b_{20}$.

Мы рассматриваем отдельно случаи роста и спада экономики. Имеющиеся данные позволяют аппроксимировать зависимость ВВП от времени линейной функцией

$$Y = \alpha + \beta t. \quad (5)$$

Подставляя выражение (5) в уравнение (4), получаем:

$$\ddot{C}^l + a_{11}\dot{C}^l + a_{12}C^l = (a_{13}\alpha + a_{14}\beta + a_{15}) + a_{13}\beta t. \quad (6)$$

Решение уравнения (6) описывает поведение объема легального потребления электроэнергии в динамике с учетом нелегальной составляющей потерь.

2. АНАЛИЗ МОДЕЛИ ПРИ НЕИЗВЕСТНЫХ ПАРАМЕТРАХ НЕЛЕГАЛЬНОГО ПОТРЕБЛЕНИЯ

Для оценки влияния нелегального потребления электроэнергии на ее производство и объем легального потребления мы провели параметрический анализ системы уравнений (3) относительно коэффициентов b_{22} и b_{32} , отражающих влияние нелегального потребления электроэнергии на дальнейший рост ее производства и потребления.

Для устойчивости решения системы уравнений (3) необходимо и достаточно, чтобы коэффициенты a_{11} и a_{12} однородного уравнения

$$\ddot{C}^l + a_{11}\dot{C}^l + a_{12}C^l = 0 \quad (7)$$

были положительны, т. е. чтобы $b_{21} + b_{23} < 0$, $b_{32}b_{21} - b_{22}b_{31} > 0$. В этом случае рассматриваемая модель адекватно описывает поведение процесса потребления электроэнергии.

Общее решение уравнения (6) состоит из суммы его частного решения и общего решения однородного уравнения (7). Поскольку мы полагаем, что изменение ВВП во времени может быть оценено линейной функцией (5), то частное решение имеет вид:

$$\bar{C}^l(t) = k + lt.$$

Коэффициенты k и l определяются методом неопределенных коэффициентов:

$$k = \frac{1}{a_{12}} \left(a_{13}\alpha + a_{14}\beta + a_{15} - \frac{a_{11}a_{13}\beta}{a_{12}} \right);$$

$$l = \frac{a_{13}\beta}{a_{12}}. \quad (8)$$

Далее мы отдельно рассматриваем решение уравнения (6) в зависимости от знака дискриминанта $D = a_{11}^2 - 4a_{12}$ характеристического уравнения однородного уравнения (7).

I случай: $D > 0$. Общее решение уравнения (6) имеет вид:

$$C^l(t) = R_1 e^{-d_1 t} + R_2 e^{-d_2 t} + k + lt, \quad (9)$$

где $-d_1, -d_2$ — корни характеристического уравнения, соответствующего уравнению (7).

Рассмотрим случай растущей экономики $\beta > 0$. Для анализа поведения параметра C^l во времени необходимо исследовать знак производной выражения (9):

$$\dot{C}^l(t) = -d_1 R_1 e^{-d_1 t} - d_2 R_2 e^{-d_2 t} + l.$$

В случае, когда $a_{13} < 0$, т. е. $l < 0$, нелегальное потребление электроэнергии превалирует над легальным, которое в этом случае с течением времени падает до нуля.

Рассмотрим возможные случаи, когда $l \geq 0$.

Если при $t = 0$ производная $\dot{C}^l(t)$ отрицательна, значит, несмотря на то, что ВВП начал расти, легальное потребление электроэнергии продолжает уменьшаться. Чтобы определить, как долго объем легального потребления электроэнергии будет уменьшаться, необходимо решить уравнение

$$\dot{C}^l(t) = -d_1 R_1 e^{-d_1 t} - d_2 R_2 e^{-d_2 t} + l = 0; \quad (10)$$

Если заданы начальные значения объемов легального и нелегального потреблений электроэнергии, то из системы уравнений (3) можно вычислить значения констант R_1 и R_2 :

$$R_1 = \frac{1}{d_2 - d_1} [(d_2 + b_{21} + \gamma b_{22})C^l(0) - d_2 k + l - b_{23}\alpha - b_{20}], \quad (11)$$

$$R_2 = \frac{1}{d_2 - d_1} [-(d_1 + b_{21} + \gamma b_{22})C^l(0) - (d_2 k + l - b_{23}\alpha - b_{20})], \quad (12)$$

где $\gamma = C^{il}(0)/C^l(0)$.

Подставляя выражения (11) и (12) в уравнение (10), получаем:

$$\dot{C}^l(0) = (b_{21} + \gamma b_{22})C^l(0) + b_{23}\alpha + b_{20},$$

откуда определяем, что при

$$b_{22} < -\frac{1}{\gamma C^l(0)} (b_{21} C^l(0) + b_{23}\alpha + b_{20})$$

объем легального потребления будет сокращаться под влиянием нелегального потребления, несмотря на то, что экономика начала расти.

Чтобы определить, как долго будет продолжаться падение объема легального потребления электроэнергии при росте экономики, необходимо при имеющихся численных данных решить уравнение (10) относительно t .

При $\dot{C}^l \geq 0$ возможны два случая. В одном из них легальное потребление электроэнергии постоянно растет с ростом ВВП, несмотря на наличие нелегальной составляющей. Возможна также ситуация, когда при росте ВВП объем легального потребления электроэнергии сначала растет, затем в течение какого-то времени под влиянием нелегального потребления падает, а затем снова продолжает расти. Для оценки периода падения объема легального потребления электроэнергии в этом случае необходимо найти корни уравнения (10) для конкретных данных. Промежуток времени, на котором объем легального потребления снижается, будет заключен между корнями уравнения (10).

При спаде экономики методика рассмотрения аналогична.

II случай: $D = 0$. Рассмотрение данного случая аналогично предыдущему.

Общее решение уравнения (6)

$$C^l(t) = R_1 e^{-a_{11}t/2} + R_2 t e^{-a_{11}t/2} + k + lt.$$

Зависимость производной объема легального потребления электроэнергии от времени имеет вид:

$$\begin{aligned} \dot{C}^l(t) = & -0,5a_{11}R_1 e^{-a_{11}t/2} + R_2 e^{-a_{11}t/2} - \\ & - 0,5a_{11}R_2 t e^{-a_{11}t/2} + l. \end{aligned} \quad (13)$$

Исходя из начальных значений объемов легального и нелегального потреблений, определяем значения констант в выражении (13).

$$R_1 = C^l(0) - k,$$

$$R_2 = b_{22}C^l(0) + (a_{11} + b_{21})(C^l(0) - k) - (l - b_{21}k - b_{23}\alpha - b_{20}).$$

Подставляя эти константы в выражение (13), получаем:

$$\begin{aligned} \dot{C}^l(0) = & b_{22}C^l(0) + (a_{11}/2 + b_{21})(C^l(0) - k) + \\ & + b_{21}k + b_{23}\alpha + b_{20}. \end{aligned}$$

Отсюда можно видеть, что при

$$\begin{aligned} b_{22} < & -\frac{1}{C^l(0)} \left(\left(\frac{a_{11}}{2} + b_{21} \right) (k - C^l(0)) - \right. \\ & \left. - (b_{21}k + b_{23}\alpha + b_{20}) \right) \end{aligned}$$

объем легального потребления сокращается под влиянием нелегального потребления, несмотря на то, что экономика начала расти.

Чтобы определить, как долго будет продолжаться падение объема легального потребления электроэнергии при росте экономики, необходимо приравнять нулю производную (13) и при имеющихся численных данных решить полученное уравнение относительно t .

Все дальнейшие рассуждения повторяют случай I, когда $D > 0$.

III случай: $D < 0$. Общее решение уравнения (6) имеет вид:

$$\begin{aligned} C^l(t) = & R_1 e^{-a_{11}t/2} \cos \sqrt{a_{12} - 0,25a_{11}^2} t + \\ & + R_2 e^{-a_{11}t/2} \sin \sqrt{a_{12} - 0,25a_{11}^2} t + k + lt, \end{aligned}$$

где значения k и l определяются формулой (8).

Видно, что в начале периода роста экономики объем легального потребления испытывает колебания под влиянием нелегального потребления, а затем, если $a_{13} < 0$ и, соответственно, $l < 0$, легальное потребление с течением времени уменьшается до нуля, т. е. полностью подавляется нелегальным, а при $a_{13} > 0$ и, соответственно, $l > 0$, объем легального потребления после колебаний начинает расти вместе с ростом экономики.

Аналогично, при спаде экономики объем легального потребления электроэнергии в течение некоторого начального периода колеблется, а затем либо падает вместе с ВВП (при $a_{13} > 0$ и, соответственно, $l > 0$), либо растет, вынуждая прибегать к внешним поставкам электроэнергии для удовлетворения имеющегося на нее спроса.

3. ОЦЕНКА ЧИСЛЕННЫХ ДАННЫХ

Оценка значений коэффициентов системы уравнений (3) для Российской Федерации была проведена с помощью регрессионного анализа. Использовались данные, приводимые в отчетах Госкомстата РФ, в отчетах РАО ЕЭС, а также в сборнике



[22]. К сожалению, в этих отчетах данные о коммерческих потерях не выделяются в отдельный столбец. В них приводятся данные о потерях в линиях электропередач, расход на производственные нужды энергосистем, а также расход на собственные нужды электростанций. Поэтому для оценки коммерческих потерь мы полагали, что они составляют определенную долю от каждого вида потерь, данные о которых приводятся в официальных источниках информации. Мы считаем, что доля коммерческих потерь в расходе на собственные нужды энергосистем и электростанций невелика, и составляет 10 и 15 % соответствующих потерь. Далее мы исследовали случаи, когда доля коммерческих потерь в потерях в линиях электропередач составляет 25, 50 и 75 %. Используемые для оценки коэффициентов данные приведены в таблице.

В результате регрессионного анализа в случае, когда коммерческие потери составляют 25 % потерь в сетях, были получены следующие коэффициенты для системы уравнений (3):

$$b_{20} = 30,7; b_{21} = -18,8; b_{22} = -33,2; b_{23} = 21,7; \\ b_{30} = -14,8; b_{31} = 18,9; b_{32} = 13,6; b_{33} = -16,6.$$

Система уравнений (3) имеет вид:

$$\begin{cases} \dot{C}^l = 30,7 - 18,8 C^l - 33,2 C^{il} + 21,7 Y \\ \dot{C}^{il} = -14,8 + 18,9 C^l + 13,6 C^{il} - 16,6 Y. \end{cases}$$

Поскольку $b_{21} + b_{23} = -5,2 < 0$; $b_{32}b_{21} - b_{22}b_{31} = 371,8 > 0$, то ее решение устойчиво.

Для объема легального потребления получаем уравнение

$$\ddot{C}^l + 5,2 \dot{C}^l + 371,8 C^l = 133,6 \dot{Y} - 33,2 Y + 73,8. \quad (14)$$

Заметим, что $D < 0$.

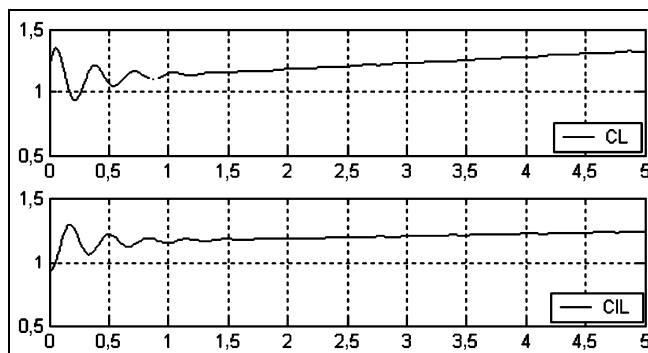


Рис. 1. Изменение объема легального (CL) и нелегального (CIL) потребления (относительно значений 1998 г.) во времени при объеме коммерческих потерь 25 % от общих потерь в сетях в растущей экономике

Для растущей экономики рост ВВП был оценен функцией $Y = 1,22 + 0,07t$, а для кризисной — функцией $Y = 1,22 - 0,07t$.

В результате решения уравнения (14) получены зависимости объема легального и нелегального потребления электроэнергии от времени, представленные на рис. 1 и 2, где по оси абсцисс отложено время в годах, по оси ординат — значение объема потребления электроэнергии по отношению к объему электроэнергии, потребленной в 1998 г.

Средняя цена электроэнергии в Российской Федерации в 2003 г. (в IV квартале) составила приблизительно 1 руб./кВт·ч [23]. Исходя из этого получены зависимости изменения объема легального и нелегального, а также суммарного объема потребления электроэнергии в рублях в ценах 2003 г., представленные на рис. 3 и 4, где по оси абсцисс отложено время в годах, по оси ординат — объем потребления электроэнергии в миллиардах рублей. Из приведенных графиков видно, что в те-

Производство, потребление, экспорт, импорт и потери электроэнергии, млрд кВт·ч

Год	Производство	Импорт	Потребление общее	Экспорт	Потери в сетях	Расход на производственные нужды	Расход на собственные нужды электростанций	ВВП, % к 1990 г.
1992	1009	27,7	992,2	44,0	84,1	10,9	34,0	85,5
1993	956,6	24,7	937,9	43,4	80,6	11,5	32,6	91,3
1994	875,9	22,2	856,4	42,7	79,0	11,7	29,8	87,3
1995	860	18,4	840,4	38,0	83,5	11,7	29,4	95,9
1996	847,2	12,4	827,7	31,9	84,5	12,4	32,5	96,6
1997	834	7,2	814,4	26,8	84,4	11,4	31,6	100,9
1998	827,2	8,2	809,1	26,3	88,8	12,6	31,4	95,5
1999	846,2	8,4	832,1	22,5	96,8	12,4	31,2	105,4
2000	877,8	8,8	863,7	22,9	101,6	12,8	32,0	108,3
2001	891,3	9,8	875,4	25,7	105,5	14,4	31,2	109,5
2002	890,8	5,2	877,9	18,1	105,7	13,1	31,2	110,8

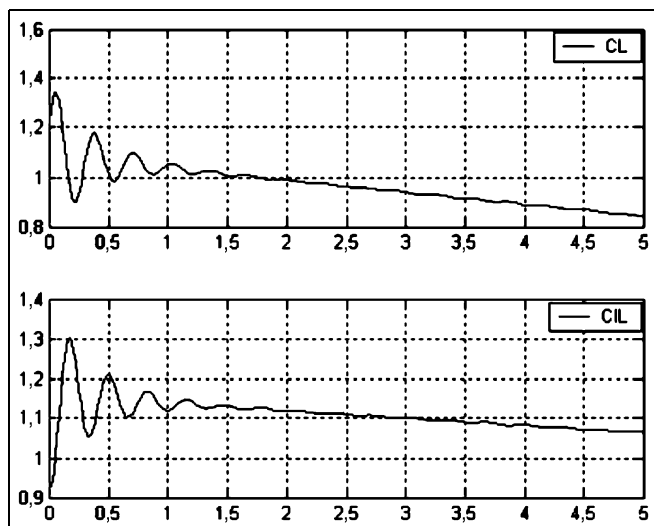


Рис. 2. Изменение объема легального (CL) и нелегального (CIL) потребления (относительно значений 1998 г.) во времени при объеме коммерческих потерь 25 % от общих потерь в сетях в кризисной (падающей) экономике

чение примерно 1,5 лет легальное потребление колеблется вследствие влияния коммерческих потерь, после чего наблюдается его устойчивый рост (спад) вслед за ростом (спадом) экономики.

Аналогичные исследования были проведены для случаев, когда объем коммерческих потерь составляет 10, 15, 50 и 75 % потерь в сетях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренная динамическая модель, отражающая один из аспектов взаимодействия экономики и энергетики, позволяет смоделировать процессы производства и потребления электроэнергии с учетом влияния на них коммерческих потерь электроэнергии, оценить степень влияния коммерческих потерь на потребление электроэнергии, а также спрогнозировать изменение уровня потребления электроэнергии в зависимости от объема коммерческих потерь. Модель проверена на данных о производстве/потреблении электроэнергии в Российской Федерации за последние 12 лет, результаты моделирования подтверждают серьезное негативное влияние, оказываемое теневой экономикой на процессы производства/потребления электроэнергии. К сожалению, мы столкнулись с серьезными затруднениями в поиске реальных данных, отражающих объем коммерческих потерь, поскольку эти данные нигде официально не публикуются. В предложенной модели не рассматривается влияние цен на электроэнергию и энергоэффективности экономики на процесс ее производства/потребления. Рассмотрение модели с учетом

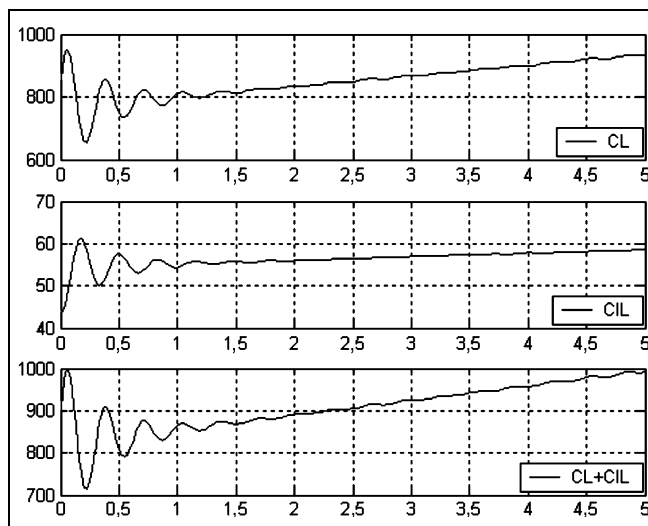


Рис. 3. Изменение объема (млрд. руб.) легального (CL) и нелегального (CIL) и общего (CL + CIL) потребления во времени при объеме коммерческих потерь 25 % от общих потерь в сетях в растущей экономике

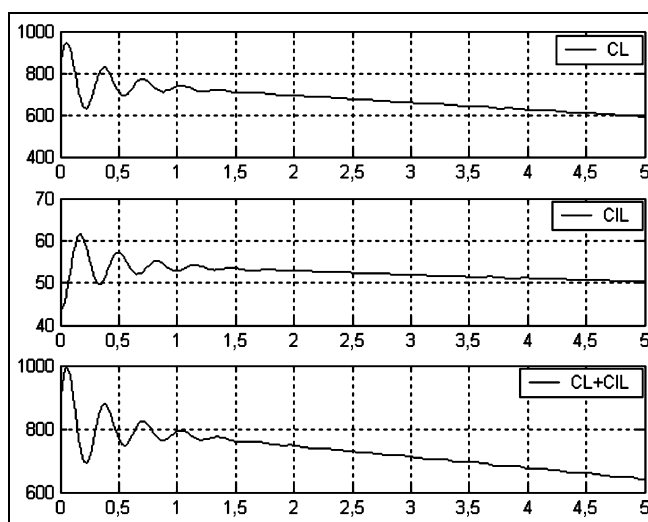


Рис. 4. Изменение объема (млрд. руб.) легального CL и нелегального CIL и общего CL + CIL потребления во времени при объеме коммерческих потерь 25 % от общих потерь в сетях кризисной экономике

влияния этих параметров является целью дальнейшего исследования.

Авторы благодарят А. Ю. Гофмана и А. П. Молчанова за полезные комментарии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Aleskerov F., Kaymak B. A dynamic Model of Production, Legal and Illegal Consumption of Energy. — М., Institute of Control Sciences, 2002.
2. Российская электроэнергетика: аналитический обзор // ЭСКО — электронный журнал энергосервисной компании



- “Экологические системы”. 2003. № 7 (19). http://esco-eco-sys.narod.ru/2003_7/index.htm.
3. Броерская Н. А., Штейнбух Г. Л. О нормировании потерь электроэнергии в электрических сетях // Электрические станции. — 2003. № 4. — С. 65, 66.
 4. Броерская Н. А., Штейнбух Г. Л. Об учете электроэнергии в электрических сетях ПЭС // Там же. — С. 67.
 5. Воротницкий В. Э., Калинин М. А., Апяткин В. Н. Мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях энергоснабжающих организаций // ЭСКО — электронный журнал энергосервисной компании “Экологические системы”. — 2003. № 7(19). <http://www.entels.ru/>
 6. Кавченков В. П. Анализ точности и достоверности оценки технологических потерь в электрических сетях 6—10 кВ. // Тр. III Всеросс. науч.-практ. конф. “Ресурсосбережение и экологическая безопасность”. <http://resource.keytown.com/material11.htm>.
 7. Долецкая Л. И., Кавченков В. П. О влиянии реактивной мощности на потери электроэнергии в сетях 6 — 10 кВ. — Там же.
 8. Шакаев С. М., Федотов А. И., Камалиев Р. Н. Потери электроэнергии в электрических сетях ОАО “Татэнерго” // Известия вузов. Проблемы энергетики // 2003. № 3—4. — С. 102—107.
 9. Гранина Н. 13 способов бесплатного пользования электричеством // Известия, 10 февраля 2004 г. — С 11.
 10. Плужников О. Б. Анализ текущей ситуации в энергетическом секторе и меры по энергосбережению // Электронный журнал энергосервисной компании “Экологические системы”. — 2003. — № 3. <http://ceeri.ecoinfo.ru/>
 11. Старцев А. П. ОАО “Пермэнерго” об анализе потерь электроэнергии // Электрические станции. — 2002. — № 12.
 12. Генерация. Рынок электроэнергии. — 2004. — № 26. — Р. 51—58 Вып. 16. <http://www.epu.kiev.ua/Number/16.htm>
 13. TRT is financed by industrialists. www.turkishtime.org/haziran/64_en.htm.
 14. Rajasthan Electricity Regulatory Commission. www.erc.gov.in/ARRorderJodhpurFY-051.htm.
 15. Karachi: KESC shows 0.32pc cut in T&D losses, DAWN Internet Edition, 31 December 2003. www.dawn.com/2003/local2.htm.
 16. Воротницкий В. Э. Коммерческие потери электроэнергии в электрических сетях. <http://www.news.eltech.ru/arh/4/2002>.
 17. Воротницкий В. Э. Норматив потерь электроэнергии в электрических сетях Как его определить и выполнить? <http://www.news.eltech.ru/arh/6/2003>.
 18. Информационное агентство “Татар-Информ” // Новости дня от 6 февраля 2002 г.
 19. Могиленко А. В. Оценка и прогнозирование потерь электроэнергии в электроэнергетических системах на основе нечеткого регрессионного анализа: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск, 2003. — 18 с.
 20. Wankeun Oh, Kihoon Lee. Causal relationship between energy consumption and GDP revisited: the case of Korea 1970—1999, Energy Economics. — 2004. — № 26. — Р. 51—58.
 21. Risako Morimoto, Chris Hope. The impact of electricity supply on economic growth in Sri Lanka. Energy Economics. — 2004. — № 26. — Р. 77—85.
 22. Электроэнергетика СНГ 1992 — 2004. — М.: Исполнительный комитет электроэнергетического совета СНГ, 2003. — 183 с.
 23. РАО ЕЭС России. Сбытовая деятельность. Состояние расчетов с потребителями. http://www.rao-ees.ru/ru/energo_sbit_4kv_03.html.
- ☎ (095) 334-88-69
E-mail: alesk@ipu.ru
ieasm@cc.acad.md □

УДК 330.131.7.336.71

РИСК В НЕКОТОРЫХ БАНКОВСКИХ ОПЕРАЦИЯХ

Л. В. Жуковская

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

Предложен метод исследования риска в банковских операциях, показана возможность применения принципа минимаксного сожаления для его численной оценки. Приведен алгоритм нахождения гарантированного по риску решения, при котором риск будет наименьшим из всех рассматриваемых рисков.

ВВЕДЕНИЕ

В банковских системах риск — обычное явление, ибо чтобы получить хорошую прибыль нужно рисковать. Управление риском — один из ключевых факторов, определяющих деятельность банка. Большинство банков получают существенную часть своих доходов от кредитной и инвестиционной деятельности. Главная задача заключается в

том, чтобы оценить риск невозврата кредитов клиентами. На “содержательном уровне”, *кредитный риск* определяется как “риск того, что партнер по финансовой сделке окажется неспособным выполнить условия контракта и держатель актива понесет финансовые потери” [1].

Кредитный риск присутствует как во всех балансовых активах, которыми владеет банк, так и в забалансовых операциях, в которых банк участвует

(деятельность на денежном рынке инвестиций, финансирование торговли, кредитные операции и различные операции, осуществляемые за комиссию).

Риск потенциальных убытков распространяется также на предоставление обязательств и гарантий, на акцептирование и операции с ценными бумагами, а также на различные виды деятельности на рынке капиталов: обмен валют, заключение фьючерсных контрактов, выпуск ценных бумаг, операции с драгоценными металлами.

При кредитовании учитываются следующие факторы возникновения риска:

- невозврат кредитов при оценке кредитных заявок;
- невозврат кредитов при контроле за кредитами в заданное время;
- взыскание кредита в случае его невозврата путем обеспечений.

Немаловажную роль здесь играет и мошенничество, которое можно подразделить на:

- мошенничество наемных работников;
- сетевое мошенничество;
- мошенничество по правительственным ссудам;
- мошенничество по кредитным картам;
- мошенничество по счетам за услуги (медицинские, коммунальные и т. п.);
- мошенничество “белых воротничков”;
- уклонение от уплаты налогов и др.

Ущерб от мошенничества возрастает в тяжелые экономические периоды, в периоды финансовых затруднений и слияния фирм, во время существования рискованных проектов.

Вообще, понятие “риск” в бизнесе определяется неоднозначно и часто зависит от контекста его употребления:

— с точки зрения получения будущих доходов или наступления иных последствий от принятия того или иного решения, под риском понимают колеблемость или неоднозначную определенность доходов или иных полезных результатов бизнеса под влиянием только одного выделенного фактора — так называемый *факторный риск*;

— под риском понимают меру опасности; при этом измерение риска опирается на анализ ситуации риска, в условиях которой принимается рискованное решение;

— под риском можно понимать разницу между доходом, который можно получить, обладая конкретной информацией о точном будущем состоянии экономики, и доходом, который получен без этой информации, т. е. размер риска — это размер платы за отсутствие информации о состоянии экономики.

В ситуации риска, например, когда каждому финансовому инструменту соответствует не единственное значение дохода, а определенное распределение этих доходов и, соответственно, шансов

их получения, это распределение осуществляется по будущим состояниям экономики или окружающей предпринимательской среды. Неопределенность здесь связана с тем, что неизвестно, какое именно состояние экономики наступит.

Под *мерой риска* понимают числовую оценку будущих доходов с учетом шансов их получения, которая учитывает отклонения как в сторону сокращения доходов, так и в сторону их повышения, т. е. под мерой риска понимается мера изменчивости будущих доходов или иных результатов бизнеса, определяемых конкретным фактором или группой факторов.

Например, кредитоспособность компании невозможно определить без учета уровня рискованности ее операций. При оценке предметных заявок проводится анализ бизнес-риска и обращается внимание на следующие факторы появления риска:

- внешняя среда;
- качество управления;
- характер взаимоотношений с клиентом;
- характеристики кредита (детали операции, цена кредита, обеспечение и т. д.).

Обозначим множество данных факторов через $Y = \{1, \dots, n\}$. Множество кредитных заявок от клиентов — через $X = \{1, \dots, m\}$. В роли ЛПР (лица, принимающего решение) выступает банк, точнее, сотрудник кредитного отдела банка, который и должен представить как уровень потенциальных убытков, так и рекомендации относительно принятия или отказа от кредитования клиента.

1. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ

Рассмотрим задачу принятия решения при неопределенности, заданную в виде упорядоченной тройки

$$\langle X, Y, A \rangle, \quad (1)$$

где выбор альтернативы $i \in \mathbb{N} = \{1, \dots, m\}$ осуществляет ЛПР, он сводится к выбору одного из чисел $1, \dots, m$ (например, номеров клиентов или кредитных заявок); независимо от его выбора в задаче (1) реализуется некоторая неопределенность (фактор бизнес-риска) из множества $Y = \{1, \dots, n\}$. Задана постоянная $m \times n$ -матрица $A = (a_{ij})$ прибылей банка от реализации кредитных заявок; ЛПР осуществляет свой выбор строки матрицы A . Одновременно с этим экономическое состояние финансового рынка “реализует” некоторый столбец матрицы A . В результате ЛПР получает “прибыль” — элемент матрицы A , лежащий на пересечении выбранной ЛПР строки и реализовавшегося (независимо от этого выбора) столбца матрицы A . При этом ЛПР стремится к наибольшей (из возможных в указанных условиях) прибыли.

Для выбора решения ЛПР может применить следующий алгоритм.



2. АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ

Пусть множества X и Y конечные, а элементы матрицы A являются числа $f(i, j) = a_{ij}$, т. е. $A = (f(i, j)) = (a_{ij})$.

Согласно критерию Сэвиджа (принципу заключающиеся сожаления [2]) введем следующее.

Определение. Гарантированным по риску решением задачи (1) будем называть пару $(i_0, \Phi^0) \in X \times \mathbb{R}^1$ такую, что

$$\max_{j=1, \dots, m} \Phi(i_0, j) = \min_{i=1, \dots, n} \max_{j=1, \dots, m} \Phi(i, j) = \Phi^0, \quad (2)$$

где функция риска

$$\Phi(i, j) = \max_{k=1, \dots, m} a_{kj} - a_{ij} \geq 0 \quad (3)$$

численно оценивает “сожаление ЛПР”, что при неопределенности j он выбрал альтернативу i , а не k^* такую, что

$$a_{k^*j} = \max_{k=1, \dots, m} a_{kj}.$$

Естественно для ЛПР возможно *уменьшить* “свое сожаление”.

Под *решением* задачи (1) приняли альтернативу i_0 и гарантированный этой альтернативой риск Φ^0 . “Гарантированный смысл” этого риска Φ^0 в том, что ЛПР, используя альтернативу i_0 (определяемую первым из равенств (2)), “обеспечивает” себе риск не больший, чем Φ^0 , т. е. $\Phi(i_0, j) \leq \Phi^0$, какая бы неопределенность $j \in \{1, \dots, n\}$ ни реализовалась в задаче (1).

Нахождение гарантированного по Сэвиджу (по риску) решения задачи (1) проводится по следующей схеме, которая основывается на выражениях (2) и (3):

$$\begin{matrix} \begin{matrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ a_{m1} & \dots & a_{mn} \end{matrix} \\ \downarrow \quad \dots \quad \downarrow \\ \max_{k=1, \dots, m} a_{k1} \quad \dots \quad \max_{k=1, \dots, m} a_{kn} \\ \downarrow \\ \left[\begin{matrix} r_{11} = \max_{k=1, \dots, m} a_{k1} - a_{11} & \dots & r_{1n} = \max_{k=1, \dots, m} a_{kn} - a_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} = \max_{k=1, \dots, m} a_{k1} - a_{m1} & \dots & r_{mn} = \max_{k=1, \dots, m} a_{kn} - a_{mn} \end{matrix} \right] = \end{matrix}$$

$$\begin{aligned} & \left[\begin{matrix} r_{11} & \dots & r_{1n} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{m1} & \dots & r_{mn} \end{matrix} \right] \rightarrow \begin{matrix} \max_{j=1, \dots, n} r_{1j} \\ \vdots \\ \max_{j=1, \dots, n} r_{mj} \end{matrix} = \min_{i=1, \dots, n} \left[\max_{j=1, \dots, n} r_{ij} \right] = \Phi^0 \\ & \qquad \qquad \qquad \downarrow \\ & \Phi^0 = \max_{j=1, \dots, n} r_{i_0 j}. \end{aligned}$$

Полученная пара (i_0, Φ^0) и будет гарантированным по риску решением задачи (1). При этом функция риска $\Phi(i, j) = \max_{k=1, \dots, m} a_{kj} - a_{ij}$ представляет собой риск невозврата кредита и численно оценивает риск выбора (при неопределенности j) кредитной заявки i . Естественно стремление ЛПР уменьшить данный риск.

Таким образом, получаем, что при выборе кредитной заявки i_0 к реализации (при неопределенности j) риск $\Phi(i_0, j)$ не может стать больше гарантированного риска Φ^0 при любой неопределенности (факторах бизнес-риска) $j = 1, \dots, n$. Итак, ЛПР “гарантирует себе риск” Φ^0 , который будет наименьшим из всех рассматриваемых рисков по данным кредитным заявкам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В этой работе мы лишь коснулись вопроса риска в банковских операциях и показали возможность применения здесь принципа заключающиеся сожаления. Возможны и другие подходы к определению банковских рисков. Заметим, что теоретическим основам риска в многокритериальных и игровых задачах посвящены исследования автора [3–5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Соложенцев В. Д., Карев В. В., Соложенцев В. Е. Логико-вероятностная оценка банковских рисков и мошенничеств в бизнесе. — СПб.: Политехника, 1996.
2. Savage L. Y. The theory of statistical decision//J. American Statistic Association. — 1951. — № 46. — P. 55–67.
3. Жуковский В. И., Жуковская Л. В. Риск в многокритериальных и конфликтных системах при неопределенности. — М.: Едиториал УРСС, 2004.
4. Жуковская Л. В. Математические основы риска в многокритериальных задачах. — М.: РосЗИТЛП, 2001.
5. Жуковская Л. В. Математические основы риска в игровых системах. — М.: РосЗИТЛП, 2002.

☎ (095) 334-90-09



УТРАТА УСТОЙЧИВОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ: ЕЕ ПРИЧИНЫ И МЕТОДЫ ПРОТИВОДЕЙСТВИЯ

С. П. Бараненко

Российская академия предпринимательства, г. Москва

Показано, что основные причины утраты экономической устойчивости предприятия заключаются в значительных возмущениях внешней среды и стратегических ошибках менеджмента. Рассмотрено влияние на управление соотношения скорости изменения внешней среды и характерной скорости реакции предприятия. Указаны пути повышения экономической устойчивости предприятия к возмущениям внешней среды.

Утрата экономической устойчивости предприятия происходит по сценариям, которые представляют комбинацию *двух базовых сценариев*.

В соответствии с **первым** из них утрата устойчивости происходит в виде плавного нарастания отклонений ключевых показателей предприятия от их оптимальных значений. Процесс начинается медленно, постепенно ускоряясь, пока не наступит устойчивый, не поддающийся регулированию дисбаланс финансовых потоков, вызванный снижением доходности или прямыми убытками от основной деятельности предприятия. Кризис нарастает, и если не будут приняты адекватные меры, предприятие утратит платежеспособность и обанкротится. Начальные отклонения возникают либо из-за несоответствия принятой стратегии основным тенденциям развития внешней среды вследствие ошибки, либо в результате появления новых факторов уже после принятия стратегии. По мере роста несоответствия стратегии тенденциям во внешней среде отклонения параметров предприятия от их оптимальных значений нарастают, и предприятие утрачивает устойчивость по следующему сценарию: сначала на предприятии все быстрее снижается рентабельность активов, вызванная нарастанием расхождения стратегии предприятия с динамикой рынка. Через несколько циклов основной деятельности снижение рентабельности активов начинает отражаться на рентабельности собственного капитала предприятия, рыночной цене акций и других долгосрочных оценках его стоимости. Эти оценки подают тревожные сигналы партнерам, кредиторам и инвесторам, которые начинают принимать меры по снижению своих рисков, порождаемых деловыми контактами с предприятием, и у него начинаются проблемы с платежеспособностью. Если предприятие не сможет решить свою основную проблему — поднять рентабельность операций, кризис ликвидности может привести предприятие к банкротству.

Стратегические ошибки, ведущие к утрате устойчивости предприятия, можно классифицировать следующим образом:

- несоответствие стратегических целей предприятия:
 - реальным рыночным условиям;
 - доступным ему ресурсам;
- ошибочность стратегии и тактики, а также неточность реализации правильно сформулированных стратегии и тактики;

- подмена официально объявленных целей предприятия (целей собственников-акционеров) собственными целями высшего менеджмента (конфликт интересов собственника и менеджмента);
- сам собственник, официально декларируя долгосрочную стратегию развития предприятия, на деле нацелен на краткосрочное владение предприятием для перепродажи его ключевых ресурсов либо интенсивной сверхэксплуатации.

При недобросовестном управлении предприятие утрачивает устойчивость и попадает в кризисную ситуацию не в силу объективных причин, а по вине собственника или менеджмента предприятия.

При исправлении стратегической ошибки важна своевременность: чем позже принимаются меры к исправлению кризисной ситуации, тем выше становятся требования к точности управления, тем больше ресурсов требуется на восстановление. Но как раз ресурсов предприятию и не хватает, поэтому в условиях начинающегося кризиса от руководства предприятия требуются мужество и профессионализм. С одной стороны, чем раньше начнется точное управление восстановлением устойчивости предприятия, тем меньше потребуются ресурсы, тем выше вероятность успеха. С другой стороны, если не установить истинные причины кризиса, что требует достаточного по времени профессионального наблюдения, возможна ошибка в определении его причин и как результат — неточное управление, возрастание потребности в ресурсах и снижение вероятности успеха.

Все отраслевые предприятия, имеющие успешный опыт работы на отраслевом рынке в начальных условиях (до появления во внешней среде новых факторов), оказываются примерно в одинаковом положении, так как условием успеха в отрасли является возможно более полный учет действующих факторов и адаптация к ним. Эта адаптация отражается в стратегических планах, структуре организации, хозяйственной политике и т. д. Поэтому все предприятия оказываются перед необходимостью решать примерно одну и ту же задачу. Различия в положении в отраслевой иерархии проявляются:

- в масштабе предприятия, наличия у него ресурсов и возможности продержаться до того момента, когда оно установит основные закономерности новых тенденций во внешней среде и выработает стратегию адаптации к ним;



- в том, насколько ключевые ресурсы и компетенции предприятия соответствуют новым условиям, поскольку от этого зависят время и ресурсы, необходимые для его адаптации при точном управлении.

Таким образом, для сохранения устойчивости в условиях нарастающих потерь предприятию нужны интеллектуальные и материальные ресурсы, а менеджмент предприятия организует их для решения проблемы. Это означает, что крупные предприятия при прочих равных условиях имеют больше шансов на сохранение устойчивости. Однако и у малых предприятий есть свой шанс. Среди множества малых предприятий отрасли существуют такие, чьи ключевые компетенции оказываются особенно эффективными в новых условиях. Раньше их компетенции не способствовали развитию предприятия, поскольку не полностью отвечали экономическим и технологическим условиям отрасли. В новых условиях они позволяют малому предприятию быстрее адаптироваться, являются той базой, на которой они могут расширить свой бизнес. Важно, чтобы эти ключевые компетенции были защищены от воспроизводства другими компаниями. Менеджмент малого предприятия не отягощен излишним опытом работы в базовых отраслевых условиях и способен мыслить и оценивать ситуацию более объективно, чем менеджмент крупного предприятия прежней организационной культуры. Это свойство может оказаться критически важным, потому что открывает еще одно направление разрешения кризиса — через профессиональную консультативную помощь.

Когда в отрасли происходит инновационный прорыв, в условиях начавшихся трансформаций и связанных с ними трудностей для ее лидеров, в плотном пространстве отраслевой конкуренции открывается брешь. Она предоставляет благоприятные возможности тем малым предприятиям, которые смогут своевременно по достоинству оценить перемены. Войти в отрасль, находящуюся в состоянии устойчивого развития, преодолевая согласованное сопротивление “аборигенов”, очень сложно. Войти в нее на стадии трансформации несравненно легче, это становится по силам и малому предприятию. Предприятие, которое, обладая необходимыми компетенциями и ресурсами, осознает эти возможности и первым двинется в указываемом ими направлении, получит шанс опередить конкурентов, формируя будущую область своей стратегической устойчивости.

Во **втором базовом сценарии** утраты устойчивости предприятие испытывает шок, связанный с потерей заметной части своих активов. В результате шока нарушается согласованность финансовых потоков, наступает дезорганизация привычных циклов, связанная с возникновением в системе переходных процессов, отличающихся от привычной деятельности предприятия. Наступившая растерянность и психологическая перегрузка мешают высшему менеджменту сразу приступить к разумной, взвешенной реакции на новую реальность с целью сохранения компании. Инерция на нижних уровнях управления еще более усиливает диспропорции финансовых потоков. Потери непрерывно увеличиваются, пока не наступает банкротство предприятия. Для предотвращения такой цепи событий необходима своевременная и точная реакция менеджмента на кризис в его динамике. Наиболее распространенная причина утраты устойчивости предприятия состоит в сочетании более-менее грубых ошибок в стратегии или ее реализации и финансового шока, вызванного изменениями во внешней среде предприятия, например изменениями в законодательной базе (налоговой, антикризисной, таможенной политике), политике Центрального банка по регламентиро-

ванию банковской деятельности, изменениями во внешнеполитической обстановке и др. Микроэкономическими изменениями во внешней среде предприятия, способными вызвать у него финансовый шок, могут быть появление у конкурентов товара повышенной конкурентоспособности, заключение конкурентами альянса с поставщиком предприятия или его ключевым потребителем и др. Часто на эти проблемы налагаются осложнения, связанные с ошибками управленческих решений и их исполнения в тактическом и оперативном звеньях. В лучшем случае эти ошибки ведут к увеличению расхода ресурсов организации при достижении тех же результатов по сравнению с точной реализацией планов и заданий соответствующего уровня. Перерасход ресурсов негативно отражается на рентабельности активов предприятия, что при жестких ограничениях на ресурсы ведет к ухудшению его финансовых показателей. Хотя причины нарушения устойчивости могут быть разными, конечная фаза проявляется как утрата финансовой устойчивости. Выстраивается такая последовательность событий, угрожающая устойчивости предприятия: стратегические ошибки — ошибки планирования и управления в тактическом звене, их слабая связь со стратегическими целями предприятия — ошибки исполнения в тактическом и оперативном звене — кризис рентабельности — кризис доверия партнеров и рынка — кризис платежеспособности.

Сравнение периодов различных циклов устойчивости предприятия — оперативных, тактических и стратегических — проясняет типовую тактику менеджмента предприятий, попавших в затруднительное положение. Например, широко распространена практика исправлять состояние некоторой группы показателей, временно жертвуя значениями более медленных показателей. Хотя эти шаги могут принести временное облегчение, они наносят ущерб стратегическим ресурсам компании, что позже проявится продолжительным увеличением удельной стоимости факторов производства и снижением доходности реализации продукции компании (крупномасштабные циклы). Можно временно повысить рентабельность операций при относительном снижении качества продукции из-за агрессивной рекламы, однако это наносит ущерб репутации предприятия. Правильное решение — своевременные меры по совершенствованию качества продукции либо ее переадресация (смещение в другой сегмент рынка либо фокусирование стратегии).

Существенное нарушение финансовой структуры активов предприятия наступает, во-первых, при резком изменении активов компании, например, при росте поглощением, приобретении неэффективных активов и т. п., что ведет к временному снижению рентабельности активов компании. Если в течение периода, длительность которого зависит от резервов, выделенных на адаптацию новых активов, внешних событий в отрасли и тактики адаптации, предприятию не удастся выйти на среднотраслевой уровень рентабельности совокупных активов, его запас устойчивости снижается. Во-вторых, нарушения финансовой структуры активов могут возникать либо в результате их продолжительной недостаточной рентабельности либо в результате прямых убытков, вызванных использованием активов при неоправданно высоких рисках. Обе причины являются результатом стратегических и тактических ошибок менеджмента (за исключением случаев форс-мажорных обстоятельств), поэтому эффективность менеджмента важный фактор достижения и укрепления стратегической устойчивости предприятия.

Особое значение для управления имеют точность и скорость реакции управления на изменения во внешней

среде предприятия. Чтобы адекватно реагировать на динамику внешней среды, менеджмент предприятия должен быстро собрать информацию, обработать ее, мобилизовать достаточные ресурсы и на их основе реализовать тактическое управление $u_i(t, x, \xi)$, где t — время, x — фазовое состояние предприятия, непредвиденное событие). Реакция предприятия на событие ξ должна включаться раньше, чем будет нанесен ущерб текущей деятельности и (или) активам предприятия. Опаздание с реакцией может привести к тому, что ущерб, нанесенный первым событием, будет усугублен ущербом от последующих событий, существенно осложняя положение предприятия. Успех программы защиты от внешних угроз тем более вероятен, чем меньше реальные события отклоняются от стратегического прогноза их динамики. В этом случае предприятие готово к большей части внешних и внутренних угроз, а неучтенные воздействия извне носят характер малых возмущений, поэтому их коррекция достигается сравнительно простыми методами и небольшими ресурсами.

При редких и плавных изменениях внешней среды, когда она воздействует на предприятие *редкими и медленно развивающимися* процессами, предприятие имеет возможность заметить и подготовиться к наступлению каждого процесса ξ . При его развитии у менеджмента достаточно времени, чтобы собрать и обработать информацию о нем, разработать и реализовать адекватное управление. Ситуация вполне контролируема, характеризуется умеренной неопределенностью и достаточными возможностями для противодействия. Управление протекает в щадящем менеджмент режиме: уровень психологических нагрузок, возникающих от необходимости принимать ответственные решения в сжатые сроки, здесь невелик, поэтому невелик и уровень ошибок управления, порождаемых стрессом.

В ситуации, когда внешняя среда действует на предприятие *редкими, но быстро развивающимися* процессами, предприятие успевает своевременно заметить и подготовиться к наступлению процесса ξ , однако в ходе его развития реакция предприятия может запаздывать. Достаточные интервалы между последовательными процессами ξ позволяют менеджменту анализировать их развитие и собирать статистику с тем, чтобы учесть накопленный опыт в будущем, при наступлении аналогичной ситуации. Запаздывание реакции предприятия можно уменьшить, разработав предварительно сценарий действий персонала в ходе процесса ξ и отработав его на практике, как это делается при подготовке пилотов, космонавтов и высококвалифицированных операторов, где фактор времени играет решающую роль, а точный сценарий развития процесса неизвестен. Справедливость такого подхода подтверждается еще и тем, что в управлении своевременность реакции важнее ее оптимальности: для большей части управленческих ситуаций достаточно своевременно принять и реализовать удовлетворительное, а не оптимальное решение. Описанная ситуация предъявляет более высокие требования к менеджменту предприятия, чем в предыдущем случае, так как динамика процессов создает более высокий уровень неопределенности и стрессов у персонала.

Когда внешняя среда воздействует на предприятие *часто наступающими медленными* процессами, его менеджмент не может в полном объеме идентифицировать процессы до их начала, изучение процесса происходит уже в ходе его развития. Хотя отдельный процесс протекает медленно, процессы часто накатывают на предприятие, и оно участвует одновременно в нескольких процессах. Возникновение эффектов отрицательной си-

нергии при наложении процессов усложняет управление, а также рассеивает ресурсы на ограничение их последствий. Предотвращение либо смягчение негативных эффектов является важной задачей управления предприятием. Поскольку процессы возникают часто, полезно предварительно разработать сценарии действий персонала предприятия при типовом и наиболее неудачных наложениях двух процессов и отработать их на практике.

Когда на предприятие воздействуют *часто наступающие* и потому налагающиеся друг на друга *быстрые процессы*, менеджмент предприятия не может удовлетворительно идентифицировать их ни до начала, ни в ходе их реализации. Быстрые процессы часто накатывают на предприятие, и предприятие участвует одновременно в нескольких не полностью идентифицированных процессах. Высокий уровень неопределенности увеличивает риск и частоту ошибок управления, а необходимость принимать ответственные решения в сжатые сроки обуславливает высокий уровень стресса управляющего персонала. Отсутствие передышки и возможности проанализировать развитие процессов в системе “предприятие — внешняя среда” еще более усугубляет кризис. Вероятность возникновения эффектов отрицательной синергии очень высока. Главная задача управления состоит в максимальном противодействии развитию негативных синергетических эффектов с целью ослабить их воздействие на предприятие. Такую ситуацию называют турбулентной внешней средой [1]. Разумная линия поведения менеджмента — попытаться установить статистику процессов и статистику их наложений с тем, чтобы построить усредненный прогноз о динамике этого сложного процесса. Шансы управления на сохранение предприятия в этих условиях тем выше, чем лучше выполнен прогноз. Однако изучение статистики требует времени, в течение которого предприятие может утратить ресурсы и обанкротиться. Предприятие быстро теряет управляемость, шансы на успех в этих условиях невелики. Вся ситуация носит характер острого кризиса, когда предприятие сталкивается с проблемой, далеко выходящей за привычные рамки. Менеджменту необходимо действовать быстро и точно в условиях высокой неопределенности, без привычных ориентиров и под сильным психологическим стрессом. Единственно возможная позитивная цель управления в этих условиях — сохранение предприятия через сохранение управляемости.

Возможность сохранения устойчивости предприятия определяется комплексом причин: масштабом воздействия неблагоприятных процессов, темпом их развития, соотношением убытков, которые приносят предприятие эти события, с запасом ключевых ресурсов, скоростью и точностью реакции менеджмента на события и т. д. Проведенный анализ показывает, что задача сохранения устойчивости не всегда имеет решение даже при точном управлении. В этом мы расходимся с позицией ряда российских исследователей, что “главной задачей антикризисного управления является обеспечение такого положения предприятий на рынке, когда о банкротстве речи идти не должно, а упор делается на преодоление временных трудностей, в том числе и финансовых, посредством использования всех возможностей современного менеджмента, разработки и практической реализации на каждом предприятии специальной программы, имеющей стратегический характер, которая позволила бы ему остаться на плаву *при любых рыночных коллапсах и коллизиях*” [2].

Зависимость базовых ситуаций в управлении от соотношения времени реакции предприятия и характерного временного интервала между воздействующими на



предприятие процессами внешней среды и темпами их развития указывает на то, что управляемость предприятием можно повысить путем ускорения процессов сбора и обработки информации, повышения скорости и надежности коммуникаций в контуре менеджмента, повышения скорости и качества разработки управленческих решений, точности и своевременности их воплощения.

Сбор и обработку информации ускоряют методами автоматизации. Скорость и надежность коммуникаций в контуре управления предприятием можно поднять путем оптимизации управленческой структуры и применения технических систем выявления и фильтрации ошибок. Скорость разработки и качество управленческих решений можно повысить благодаря внедрению количественных экономических моделей, позволяющих в ускоренном

режиме моделировать развитие управленческих ситуаций, получать количественные оценки рисков для предлагаемых решений и, тем самым, повышать точность управления. Точность и своевременность реализации решений повышают путем оптимизации структуры организации, мотивации персонала и повышения его квалификации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ансофф И. Стратегическое управление. — М.: Экономика, 1989.
2. Уткин Э. А. Антикризисное управление. — М., 1997. С. 12.

E-mail: aspitant@rusakad.ru



16-Й СИМПОЗИУМ ИФАК ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ В ПРОСТРАНСТВЕ

В июне 2004 г. в Санкт-Петербурге состоялся 16-й Симпозиум ИФАК по автоматическому управлению в пространстве.

Симпозиум был организован и спонсирован Техническим комитетом (ТК) по аэрокосмическому пространству ИФАК, Европейским космическим агентством (ESA), ТК ИФАК по вычислительной технике и телеметрии, поддержан Национальным комитетом ИФАК России, Министерством по науке и технике РФ, Российским объединением “Интеграция”, Правительством Санкт-Петербурга, Академией навигации и управления движением, Научно-производственным объединением прикладной механики им. М. Ф. Решетнёва, ассоциацией “Научтехлитиздат”. Существенная часть организационной работы выпала на долю ЦНИИ “Электроприбор”.

Значительный вклад в организацию и проведение Симпозиума внесли Председатель Международного программного комитета В. Г. Пешехонов (Россия) и Председатель Национального организационного комитета А. В. Небылов (Россия).

Для выступлений на пленарных заседаниях были приглашены хорошо известные в мире ученые и специалисты, которые наиболее ярко могли бы осветить современное состояние исследований в соответствующих направлениях тематики Симпозиума. Следует сразу сказать, что организаторам эту непростую задачу удалось решить в высшей степени замечательно.

Первая пленарная лекция “Российские космические программы: достижения и перспективы применений автоматического управления” была представлена хорошо известным российским ученым, ведущим специалистом Ракетно-космической корпорации “Энергия” (г. Королев) В. П. Легостаевым. Автор заявил, что совершенство космических кораблей, как пилотируемых, так и автоматически управляемых, в значительной степени определяется качеством функционирования системы управления. Он описал историю развития систем управления, проследил эволюцию применяемых принципов их построения и изложил концепции последних лет, при-

нимаемые для воплощения и развиваемые для перспективных применений. 60-летний опыт разработки и применения систем управления дает возможность установить определенную философию и направления в развитии систем, обеспечивающих и выполнение программы, и безопасность экипажа. Автор начал рассмотрение с релейно-реактивных систем управления для космических кораблей “Луна-3”, “Восток”, “Восход” и постепенно перешел к системам с моментной гиросtabilизацией в комбинации с гравитационной магнитной разгрузкой при насыщении.

Пленарная лекция П. Сильвестрина (P. Silvestrin, ESA Mission and System Studies Section for Earth Observation Future Programs, Нидерланды) “Последние достижения в бортовых системах управления и навигации для новых космических программ ESA по наблюдению за Землей” была посвящена нескольким новым космическим программам, разрабатываемым или подготавливаемым в рамках общей программы ESA по наблюдению за Землей. В 2005—2008 гг. будут запущены такие спутники, как “Cryostat” (для изучения высоты ледового покрова), SMOS (для изучения влажности почвенного слоя и солености океанов), “ADM-Aeolus” (для изучения динамики движения атмосферы).

Другие проекты, которые находятся в процессе разработки: Earth CARE (изучение облачности Земли, анализ солнечного излучения и радиации); Spectra (изучение изменений поверхностных процессов и экологических систем посредством анализа их реакций на различные воздействия); WALES (изучение состояния водяного пара в космическом пространстве); ACE+ (атмосферные и климатические исследования); EGPM — европейский вклад в глобальную программу по изучению выпадения осадков; Swarm — изучение динамики магнитного поля. Автор остановился на различных достигнутых результатах в соответствующих областях, особенно в отношении технических показателей датчиков, таких как автономные звездные системы и прецизионные GPS/Galileo системы.

Пленарная лекция *Я. Миязавы* (*Y. Miyazawa*, The Institute of Space Technology and Aeronautics, Japan Aerospace Exploration Agency, Япония, Токио) “Текущее состояние аэрокосмических программ Японии — фокусирование на быстрой демонстрации полета” была посвящена обзору состояния аэрокосмических программ Японии, включая состояние дел по выводимым на орбиту космическим кораблям, спутникам, университетским космическим программам, по аэрокосмическим исследованиям и разработкам. Автор описал программу быстрой демонстрации космического полета и программу полетного эксперимента на основе выносимых кораблей для изучения фазы возвращения космических кораблей много-разового использования, выполняемую совместно с Национальной аэрокосмической лабораторией Японии (NAL), Национальным космическим агентством Японии (NASDA) и Национальным центром Франции по изучению космического пространства (CNES).

На основе обзора автор сделал вывод, что область наведения, навигации и управления играет ключевую роль в исследованиях и разработках по космическим программам. Это соответствует усилиям и в других аэрокосмических направлениях, поскольку используются революционные достижения в области информационных технологий. Высокое качество бортового оборудования, цифровых систем связи, цифровых компьютеров, технологии программного обеспечения — все это обеспечивает существенный прогресс автоматического управления в аэрокосмосе. Технологии автоматических систем управления полетом позволяют сегодня осуществлять полеты с теми же самыми испытательными возможностями, которые в прошлом были доступны только летчикам-испытателям.

А. Б. Куржанский (МГУ им. Ломоносова) и *В. Ф. Кротов* (Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН) в своей пленарной лекции “Национальные достижения в теории управления: перспективы применения для управления в аэрокосмическом пространстве” представили основные моменты теории управления, которые повлияли на развитие авиации и изучение космического пространства. Хорошо известно, что среди первых мотиваций развития современной теории управления были проблемы оптимального управления запуском ракет и навигации в аэрокосмическом пространстве. Эти проблемы были особенно актуальными в 1940—1950-х гг. вследствие необходимости минимизировать различные стоимостные ресурсы, такие как время полета, количество (масса) топлива и т. д. Такие исследования имели хорошую историческую предшественность в ранних работах А. М. Ляпунова и активность в области теории динамических систем 1930-х гг.

Авторы проиллюстрировали роль отечественных ученых в развитии теории управления для задач авиации и космоса. Они говорили о значительной роли работ Д. Е. Охоцимского, И. В. Остославского, А. А. Лебедева, А. А. Фельдбаума, Л. С. Понтрягина, Ф. Л. Черноусько и многих других российских ученых. В процессе рассказа о конкретных знаменитых ученых авторы демонстрировали их фотографии. Участники Симпозиума очень тепло встречали эти фотографии и легко понять почему: практически каждый участник Симпозиума хорошо знает этих ученых по фамилии, ценит и использует в своих исследованиях результаты их работ, и вот здесь, многие впервые, видят фотографии этих выдающихся людей.

Пленарная лекция *Р. Изермана* (*R. Iserman*, Institute of Automatic Control, University of Technology at Darmstadt, Германия) “Обнаружение отказов и диагностика на основе модели — состояние и применения” была посвя-

шена вопросам надежности, безопасности и эффективности многих технических объектов типа летательных аппаратов, поездов, автомобилей, энергетических и др. Классические подходы имеют ограничения или ведут к необходимости обработки нескольких выходных переменных. Методы обнаружения отказов используют сигналы входа и выхода, а также модели динамических процессов. Предполагается параметрическая оценка, сопоставление уравнений или применение наблюдателей состояния. Цель заключается в формировании нескольких симптомов, указывающих на различие между номинальным и ошибочным состояниями. Автор дал относительно короткое введение в рассматриваемую область и привел несколько примеров применений в исполнительных устройствах, автомобилях и двигателях внутреннего сгорания.

Планировалась еще одна интересная пленарная лекция “Взгляд Соединенных Штатов Америки на освоение космического пространства”, которую должен был прочитать *Р. Л. Сакхейм* (*R. L. Sackheim*, NASA Marshall Space Flight Center, USA), но, к сожалению, она не состоялась.

В целом Симпозиум собрал около 300 участников из 25 стран. Были заслушаны 5 пленарных лекций, 197 докладов представлено в рамках следующих секций.

Ориентация космических кораблей и управление орбитой движения (23 доклада)

Внимание аудитории привлек доклад “Проблемы точности систем управления ориентацией”, представленный *В. Бранецом*, *В. Платоновым* (РКК “Энергия”, г. Королев), *А. Мезенцевым* (НИИПМ, Москва), *Г. Аванесовым* (ИКИ РАН, Москва). Докладчик *В. Н. Бранец* заявил, что в их работе более подробно рассматриваются некоторые вопросы, затронутые в пленарной лекции В.П. Легостаева. Высококачественная ориентация космических кораблей является одной из наиболее сложных проблем, связанных с функцией управления в космическом пространстве. Применение прецизионных датчиков инерциальных систем совместно с системами звездных датчиков, выполненных на основе ССД-матриц, применение моментных гироскопов — все это обеспечивает предпосылки решения проблемы. В докладе приведены точностные характеристики систем ориентации станции “Мир” (1986—2001 гг.), астрофизического модуля (1990—1992 гг.), спутников связи “Ямал” (1999, 2003 гг.), реализованные РКК “Энергия”. Современные измерительные средства обеспечивают точность ориентации в пределах нескольких угловых минут по углу и 10^{-4} °/с по угловой скорости, причем эти цифры относятся к космическим кораблям достаточно больших размеров.

Интересная информация была представлена в докладе *Н. Йошиды*, *О. Такахары* (*N. Yoshida*, *O. Takahara*, Advanced Technology R&C Center, Mitsubishi Corp.), *Т. Косуги*, *К. Ниномия*, *Т. Хашимото*, *К. Минесуги* (*T. Kosugi*, *K. Nino-miya*, *T. Hashimoto*, *K. Minesugi*, Institute of Space and Astronautical Science, Japan Aerospace Exploration Agency), *С. Тсенеты*, *К. Ишимото* (*S. Tsuneta*, *K. Ishimoto*, National Astronautical Observatory of Japan) и *С. Шимады* (*S. Shimada*, Kamayura Works, Mitsubishi Electric Corp.) “Системный подход к достижению высокой точности наведения спутника SOLAR-B”.

Научный спутник SOLAR-B предназначен для наблюдения за солнечной активностью одновременно в видимом, ультрафиолетовом и рентгеновском спектрах и изучения физических процессов в атмосфере Солнца. Он разрабатывается Институтом космических исследо-



ваний при Агентстве по изучению космического пространства Японии совместно с Национальной астрономической обсерваторией Японии. Запуск спутника назначен на лето 2006 г. Масса спутника в целом составляет приблизительно 900 кг, включая 130 кг топлива; размер спутника около 3,8 м по высоте и 10 м по длине. Спутник будет помещен на затененную орбиту, синхронизированную с вращением Земли относительно Солнца на высоте 630–720 км и наклоном в $97,88^\circ$. Миссия спутника требует очень высокой точности наведения телескопов. Например, требуется стабильность наведения солнечного оптического телескопа лучше, чем $0,09''$ (3 σ) на 10 с.

В докладе *Б. Чертока, В. Легостаева, В. Бранца, Е. Микрина, С. Гусева* (РКК “Энергия”, г. Королев), *Дж. Клаба* (NASA) и *Дж. Шеррилла* (The Boeing Company) “Концепция реализации бортового комплекса управления космическими объектами на примере Международной космической станции” рассматривается решение проблемы интеграции в единый комплекс систем управления Американским и Российским сегментами Международной космической станции. Основным инструментом интегрированного комплекса авторы определяют отдельные модули. Каждый модуль характеризуется своей специфической конфигурацией аппаратурного и программного обеспечения всех сегментов станции.

Несколько докладов были посвящены мини- и микро-спутникам. Например, доклад украинских исследователей *С. Н. Конюхова, В. Ю. Драновецкого, Ю. Д. Салтыкова, В. С. Хорошилова, А. Г. Меланченко* (State Design Office “Yuznoye”), *Ю. М. Златкина* (Scientific Manufacturing Company “Hartron- ARKOS”), *Н. И. Кудина, Н. В. Ятменко, Я. И. Дубина* (Scientific Manufacturing Company “Yartron-CONSAT”) “Система управления микро-спутника MICRON”; доклад *Ф. Теруи, К. Йошихары, Т. Ямамото* (*F. Terui, K. Yoshihara, T. Yamamoto*, Japan Aerospace Exploration Agency), *С. Кимуры, Я. Неаи, Х. Ямамото* (*S. Kimura, Y. Ngai, H. Yamamoto*, National Institute of Information and Communications Technology, Япония) “Эксперимент по визуальному управлению с обратной связью ориентацией микро-спутника”; доклад *Т. Ямамото и К. Йошихары* (*T. Yamamoto and K. Yoshihara*, Japan Aerospace Exploration Agency) “Система управления ориентацией микро-спутника Labsat — точностные характеристики функционирования на орбите”; доклад *Е. Сомова, С. Батурина* (НИИ надежности механических систем, Россия, Самара), *Г. Титова, В. Раевского, А. Козлова* (НПО Прикладной механики им. М. Ф. Решетнева, Россия, Железногорск) “Нелинейная динамика стабилизации вращения спутника на основе слабого внешнего управления”.

Данная секция была интересна обилием информации о конкретных космических кораблях, конкретными данными по конструкции и точности управления космическими объектами, но и не только. Были предложены и доклады хорошего научного содержания. Например, доклад *Дж. Р. Занг и Дж. Ф. Ли* (*J. R. Zhang and J. F. Li*, Tsinghua University, Китай, Пекин) “Нелинейное управление ориентацией космического корабля на основе метода Ляпунова” посвящен построению нелинейной системы управления ориентацией космического корабля, когда авторы отказываются от традиционного предположения малости углов в составляющих уравнений движения типа произведений. В такой постановке ни линеаризация, ни декомпозиция не дают возможности упрощения задачи, однако в случае решения, оно — это решение, будет более точным. Авторы

проиллюстрировали этот факт на основе результатов математического моделирования.

Автономное управление, управление космической программой (22 доклада)

Доклад *К. Ниномия* (*K. Ninomiya*, Japan Aerospace Exploration Agency) “Обзор современных методов управления для японских научных космических программ” был посвящен, как это следует из его названия, состоянию современных методов управления, применяемых для управления научными японскими космическими кораблями при совершении миссий, относящихся к межпланетным, лунным и астрономическим робототехническим исследованиям.

Ту же самую цель преследовал доклад *Я. Охамы и С. Таниваки* (*Y. Ohkami and S. Taniwaki*, Keio University, Yokohama, Япония) “Обзор систем управления ориентацией и орбитой движения (AOCS), развитых для спутников NASDA (JAXA Engineering Test and Applications Satellites)”. В нем дан обзор систем управления ориентацией и орбитой движения спутников, разрабатываемых для Национального космического агентства (NASDA) Японии. В настоящее время NASDA переименовано в японское Агентство по освоению аэрокосмического пространства (JAXA). Работы по созданию этих систем управления в течение 20-ти последних лет поддерживались производственными предприятиями.

Космическая робототехника и манипуляторы (9 докладов)

Доклад *Л. Биаджиоти, Ф. Лотти, К. Мелчиорри, Г. Вассура* (*L. Biagiotti, F. Lotti, C. Melchiorri and G. Vassura*, University of Bologna, Италия) “Новые направления в конструировании робототехнических захватов для космических применений” был посвящен нескольким решениям по конструированию робототехнических захватов для космических манипуляторов. Интересный момент в докладе — обзор работ Университета города Болонья по представленной теме в течение последних лет.

В интересном докладе *Б. Шафера, Б. Ребела и К. Ландзетела* (*B. Schafer, B. Rebele and K. Landzettel*, German Aerospace Center (DLR)) “ROKVISS — динамика и точностные характеристики управления космической робототехники на Международной космической станции (ISS)” отмечено, что для успешного проведения космических миссий уже на этапе их формирования необходимо быть уверенным в динамических свойствах моделей робототехники, в точностных характеристиках работы этой техники. С целью проверки этих свойств необходимо проводить эксперименты на орбитальных контрольных установках. В докладе представлены результаты такого эксперимента контрольной установки на Международной космической станции со сдвоенным робототехническим устройством. Эксперимент получил название ROKVISS.

Теория наведения и управления, анализ процессов движения (18 докладов)

Доклады этой секции носят более теоретический характер. Так, доклад *Х. Ву* (*H. Wu*, Hiroshima Prefectural University, Япония) “Децентрализованное итеративное управление сложными системами, включающими запаздывание в связях между подсистемами” посвящен изучению большемерных систем с запаздыванием. Предполагается, что система в целом линейная и стационарная, однако взаимосвязь между отдельными подсистемами неизвестна. Предложен ряд локальных алгоритмов децентрализованного итеративного управления, которые

гарантируют асимптотическую сходимость к нулю отклонение между заданными желаемыми локальными выходами и действительными выходами каждой из подсистем. На численном примере продемонстрирована эффективность теоретических результатов.

Доклад *С. Д. Землякова и В. Ю. Рутковского* (Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, Москва) “Компьютерный вывод уравнений движения и аналитический синтез алгоритмов управления космическим аппаратом с дискретно изменяемой структурой” был посвящен проблеме управления космическим робототехническим модулем. Рассматриваемый объект описывается нелинейной многосвязной нестационарной математической моделью в виде уравнений Лагранжа с ограничениями на управление. На основе прямого метода Ляпунова и принципа максимума Понтрягина формируется алгоритм управления, гарантирующий заранее заданную динамическую точность движения объекта.

Управление полетом самолетов и вертолетов (16 докладов)

Большое внимание аудитории привлек доклад *И. Василевского* (ЦКБ им. Алексеева, Нижний Новгород), *В. Денисова* (1-й ЦНИИ Минобороны России, Санкт-Петербург), *В. Небылова* (Государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург) “Автоматически управляемые экранопланы: накопленный опыт и проблемы”. Экранопланы обладают рядом существенных преимуществ перед другими летательными аппаратами, среди которых авторы указывают следующие: потенциально высокая степень безопасности полета, обусловленная возможностью немедленного аварийного приводнения; сниженные требования к надежности функционирования двигателей, и, следовательно, возможность их более длительной эксплуатации; отсутствие необходимости специальных дорог и возможность выполнения специальных транспортных операций, свойственных амфибиевидным транспортным средствам (экранопланы могут летать, плавать по водной поверхности и выбираться с нее на берег); способность нести грузы больших масс и размеров у экранопланов выше, чем у самолетов; стоимость конструкции, оборудования и эксплуатации экранопланов ниже, чем в авиации. Попытки построения коммерческих экранопланов были предприняты в разных странах, но до сих пор эти попытки не столь успешны. Как правило, в последние годы это были экранопланы, рассчитанные на перемещение 5–10-ти пассажиров по рекам, озерам и спокойным морям, причем эти средства передвижения не имеют никаких средств автоматического управления. Доклад посвящен вопросам развития больших экранопланов с высококачественным автоматическим управлением.

Наведение, навигация и управление ракетами (18 докладов)

Интересный доклад *Т. Сринача, А. Тсурдаса, Е. Хьюджа и Б. Уайта* (*T. Sreenuch, A. Tsourdos, E. Huges and B. White*, Department of Aerospace, Power and Sensors Cranfield University, Великобритания) “Метод синтеза алгоритмов работы автопилота в боковом движении ракеты на основе многоцелевого итерационного частотного подхода” был посвящен синтезу автопилота бокового движения ракеты, управляющего ускорением движения. Принята нелинейная математическая модель движения ракеты, а метод синтеза основан на итерационной многоцелевой процедуре оптимизации. Ограничения функций исполнительных механизмов сформулированы в терминах импульсных переходных характеристик зам-

кнутых контуров, составляющих исполнительные механизмы. Математическое моделирование системы управления ракетой в нелинейной постановке показало, что сформированный итерационный алгоритм управления является робастным для всех видов действующих на ракету возмущений.

В докладе *Н. Доги, Я. Баба и Х. Такано* (*N. Dohi, Y. Baba and H. Takano*, National Defense Academy, Япония) “Закон наведения ракеты переменной скорости на маневрирующую цель” представлен новый закон наведения ракеты, летящей с переменной скоростью на маневрирующую цель. Предлагаемый закон наведения учитывает изменение скорости полета ракеты. Окончательная форма закона наведения представляет собой комбинацию пропорционального закона и закона погони. Результаты моделирования показали, что предложенный закон наведения эффективен, даже если скорость ракеты значительно изменяется.

Робастное управление для аэрокосмических применений (11 докладов)

В докладе *А. Хенни и Х. Сигердиджан* (*A. Henni and H. Siguerdijane*, Франция) “Робастное нелинейное управление космическим аппаратом в процессе его маневрирования при спуске на поверхность планеты” предлагается робастное нелинейное управление космическим кораблем, совершающего вертикальный спуск на какую-либо планету с незначительным атмосферным сопротивлением. Для синтеза алгоритма спуска применяется процедура управления функцией Ляпунова, которая позволяет сформировать диссипативную замкнутую систему управления. Моделирование показало удовлетворительные результаты в отношении ожидаемой степени робастности, несмотря на неопределенность атмосферного сопротивления.

Доклад *С. Желтова и Я. Визилтера* (НИИАС, Москва) “Робастный анализ компьютерного изображения для целей навигации и наведения летательных аппаратов” посвящен рассмотрению методов выделения и обработки информации для целей навигации и наведения летательного аппарата. Предлагается новый робастный метод выделения информации, основанный на оригинальном алгоритме быстрого рекуррентного преобразования в скользящем окне.

Датчики, бортовое оборудование и обработка информации (20 докладов)

Доклад *М. Крисчи, В. Джери и Дж. Бертони* (*M. Crisci, W. Geri and G. Bertoni*, University of Bologna, Италия) “DEIS UAV: проектирование и реализация бортовой системы наведения, навигации и управления” был посвящен беспилотному летательному аппарату UAV, в частности, бортовому комплексу наведения, навигации и управления объектами рассматриваемого типа. Такой летательный аппарат, благодаря способности автономного полета, отличается низкой стоимостью и компактным решением, что позволяет использовать его для выполнения контрольных полетов в целях испытания алгоритмов наведения, навигации и управления. С другой стороны, он служит хорошей платформой для осуществления различных программ, которые слишком дороги для испытательных полетов на пилотируемых самолетах.

Интересный доклад “Чувствительный элемент на основе видеометра в задачах причаливания и стыковки” был представлен *Р. Струмзу* (*R. Strietzee*, Jena-Optronik GmbH, Dresden, Германия). Видеометр позволяет определить положение и ориентацию движущегося твердого тела (преследователя) в пространстве, в частности, по-



ложение по отношению к другому телу (цели), с которым происходит сближение. Видеомер устанавливается на приближающемся объекте, в то время как на космическом теле (цели) монтируется обратный рефлектор. Трехосная конфигурация цели освещается приближающимся телом. Чувствительные элементы изображения регистрируют отраженный свет. Координаты (x, y) точек света используются для подсчета относительного положения и взаимной ориентации сближающихся тел с помощью обработки в контурах с обратной связью. Эти контуры обрабатывают информацию, поступающую с визуальных датчиков, формируют векторы состояния, которые, в свою очередь, используются в алгоритмах управления причаливанием и стыковкой.

Обнаружение отказов и диагностика линейных гидравлических сервомеханизмов (7 докладов)

Доклад *М. Маенхофа и Р. Изермана (M. Muenchhof and R. Isermann, Institute of Automatic Control, Darmstadt, Германия)* был посвящен задачам обнаружения отказов в гидравлических линейных сервомеханизмах на основе эталонных моделей. Авторы привели примеры обнаружения в рабочей гидрожидкости газовых образований, таких как воздух, газ, пена.

На Симпозиуме была организована специальная секция, посвященная студенческим аэрокосмическим проектам и вопросам образования в области аэрокосмических наук. Она носила название

Студенческие аэрокосмические проекты (12 докладов)

В докладе “Русский многофункциональный студенческий учебно-исследовательский спутник “Можаяец” на орбите” (авторы *В. Фатеев, Г. Кремец, Е. Ткачев и О. Балувев, Военная космическая академия им. А. Ф. Можайского, Санкт-Петербург*) представлена информация о Программе новых технологий (космических, информационных, образовательных и др.), развиваемых с помощью микрокосмических объектов (SV). Новые технологии отрабатываются на основе микрокосмического аппарата “Можаяец”, запущенного и успешно функционирующего на орбите. Эксперименты посвящены изучению фактора влияния космоса на ресурс бортовой электронной аппаратуры, изучению возможности определения параметров орбиты движения с помощью систем спутниковой радионавигации, развитию современной многообещающей образовательной методологии по вопросам технологии управления микрокосмическими объектами.

Управление системами старта космических объектов (11 докладов)

Доклад *Н. Имберта (N. Imbert, ONERA/DCSD, Тулуза, Франция)* и *Б. Клемента (B. Clement, CNES/DLA, Франция)* “Управление ориентацией ракетносителей: некоторые ответы на вопросы робастности” посвящен основным результатам, полученным в рамках программы “PIROLA”. Для ее выполнения была создана рабочая группа, которая в течение трех лет исследовала вопросы робастности процессов управления ракетносителями, выводящими космические объекты на орбиту. Были предложены и изучены различные методы управления и проведены испытания. В докладе описаны основные полученные результаты, указаны преимущества и недостатки каждого из рассмотренных методов.

Мониторинг газотурбинных двигателей (6 докладов)

В докладе *Т. Брейкина, Г. Томпсона, П. Флеминга (T. Breikin, H. Thompson, P. Fleming, The University of Sheffield, Великобритания), Г. Куликова и В. Арькова (УГАТУ, г. Уфа)* “Исследования генетических алгоритмов для целей получения математических моделей движения авиационных двигателей и мониторинга их работы в процессе функционирования” рассматривались вопросы применения генетических алгоритмов для многоцелевой оптимизации в процессе движения. Предложены два различных вычислительных метода многоцелевой развивающейся оптимизации применительно к газотурбинному авиационному двигателю в процессе его функционирования.

Доклад *В. Рутковского, С. Землякова, В. Суханова и В. Глумова (Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН, Москва)* “Наблюдение за функционированием трансмиссии газотурбинного авиационного двигателя” был посвящен новому подходу к слежению за работой трансмиссий авиационных двигателей. Показано, что оценка угла скручивания вала передающей трансмиссии может быть использована для определения степени износа вала, идентификации текущего значения момента свободной турбины двигателя и формирования системы своевременного отключения двигателя, исключаяющей его разрушение.

Кооперативное управление (5 докладов)

Авторы *Е. Хьюдж и Б. Уайт (E. Huges and B. White, Великобритания)* в своем докладе “Развивающийся алгоритм наведения множества ракет против множества целей” рассмотрели применение алгоритма SSOLEA (кооперативного, совместно развивающегося в текущем масштабе времени) к одновременному управлению несколькими ракетами, направляемыми против нескольких целей. Алгоритм SSOLEA предполагает использование для нанесения удара ракет, размещенных в космическом пространстве.

Системы навигации спутников на основе применения комплексов GPS/GLONASS (9 докладов)

В докладе *Т. Тсюдзи, М. Хонгал (T. Tsujii, M. Hanygal, Institute of Space Technology and Aeronautics, Япония), К. Окано и И. Петровски (K. Okano and I. Petrovski, The Institute of Advanced Satellite Positioning Technology, Япония)* “Предварительные испытания системы навигации на основе GPS/HAPS комплекса с применением вертолета” описана новая система позиционирования/навигации с использованием псевдоподсветивания, устанавливаемого на высоко расположенных системах платформ (HAPS). Если псевдоподсветки были бы установлены на таких платформах (HAPS), то их GPS-подобные сигналы могли бы быть более стабильными, а качество работы GPS более совершенным.

Конечно, краткий обзор такого мощного по наполнению международного симпозиума не может осветить его работу в целом, однако заинтересованный читатель несомненно обнаружит в его трудах¹ немало интересной и полезной информации.

С. Д. Земляков

☎ (095) 334-87-30
E-mail: zeml@ipu.ru



¹ 16th IFAC Symposium on Automatic Control in Aerospace, June 14–18, 2004: Preprints. — Vol. I—II. — Saint-Peterburg, 2004. — Vol. I. — 582 p.; Vol. II. — 597 p.



CONTENTS & ABSTRACTS

ON FUNDAMENTAL MECHANISMS OF TENDENCY CONTROL 2

Shapovalov V. I.

The criteria of entropy change in open systems are suggested as fundamental causes of system tendencies. The paper demonstrates that entropy oscillations around system's steady state play a key role in global tendencies formation. It also shows that the nonlinearity of an equation that describes commercial activities of a private enterprise reflects its system advantage in business competition against a public enterprise.

THE PROBLEMS OF CONTROL PARADIGM GLOBALIZATION IN THE MATHEMATICALLY UNIFORM FIELD OF COMPUTER INFORMATION. I. TO THE COMMON FUNCTION SPACE. 12

Zatuliveter Yu. S.

Special features of the formation of a social metasystem and its passage to a new state are examined in the conditions of global information space. The computer problems of the control paradigm globalization are discerned and investigated from the generic viewpoint. The axiomatics of the mathematically uniform field of computer information in the model of the calculus of tree-type structures is justified. An approach to the global control problems solution in the mathematically uniform field of computer information is formed.

IDENTIFICATION OF NONSTATIONARY OBJECTS' ORDER BY TEST SIGNALS TECHNIQUE 24

Romashchev A. A., Arefiev Yu. I.

The paper offers a two-step procedure for non-stationary linear objects' order identification using test signals technique. The order of the first and second members of equation are determined sequentially. Noise reduction problems are also discussed.

ADAPTIVE DECENTRALIZED OUTPUT CONTROL OF MULTIVARIABLE DELAYED OBJECTS WITH NONMINIMAL REALIZATION OF REFERENCE MODEL 30

Parsheva E. A.

The problem of designing an adaptive control system with reference models of local subsystems for multivariable objects with condition delay is solved where only controlled variable and the scalar control can be measured. The operability of the synthesized control systems under the affect of non-measured limited disturbances is proved. Thus, only measurands of local subsystems are employed for control impacts generation, i.e. the completely decentralized control is performed.

REPRESENTATIONS OF NONLINEAR FUZZY-NEIGHBORHOOD SYSTEMS. 37

Blumin S. L., Shmyrin A. M., Shmyrina O. A.

The paper examines the classes of neighborhood and nonlinear fuzzy-neighborhood's systems, and the algorithms for linearization and adaptive parameter identification.

INTERVAL LOGIC AND SUPERFUZZY SETS. 40

Levin V. I.

The paper offers a generalization of L. Zadeh's fuzzy set concept where the basic notion — the membership function — is characterized with some uncertainty. Interval uncertainty is accepted for generalization, and interval logic is applied.

MATCHING INTERESTS OF ENTERPRISES OF FINANCIAL AND INDUSTRIAL GROUPS IN RESOURCES ALLOCATION PROBLEM. 44

Fedorov Yu. V.

The problem of resources allocation is considered from the viewpoint of estimating the priority of FIG development actions. An approach based on system analysis, hierarchies analysis techniques and functional-cost analysis is offered. The approach allows to reveal the best alternative among several ones offered.

OPERATIONS SCHEDULE OPTIMIZATION FOR VARIOUS LOGISTIC SCHEMES. 50

Barkalov P. S., Kolpachev V. N.

The paper examines the problem of developing an optimal team transportation schedule: the work sequence is determined that provides minimum deviation from the specified time constraints in view of resource transportation between work sites. The solutions for linear, ring, and radial transportation networks are offered.

FINANCIAL AND ECONOMIC CONTROLLING METHODS FOR BUSINESS PLANNING AND MANAGING OF INTEGRATED COMPANIES. PART 1 54

Karibsky A. V., Mishutin D. Yu., Shishorin Yu. R.

New controlling problems and techniques applied in financial planning and operation management of integrated companies are discussed.

POWER GENERATION, LEGAL AND ILLEGAL CONSUMPTION 63

Aleskerov F. T., Shyt B. M.

An approach to power industry analysis in various periods of economic development is offered. The relationship between power generation and consumption and economic development as a whole in view of commercial losses is examined.

RISK IN SOME BANK OPERATIONS 69

Zhukovskaya L. V.

A method for risk investigation in banking activities is offered; the possibility of applying minimax regret principle for risk evaluation is demonstrated. An algorithm for finding minimum risk solution is offered that ensures the minimum risk among all risks under consideration.

ENTERPRISE STABILITY LOSS, ITS CAUSES AND METHODS TO RESIST. 72

Baranenko S. P.

The paper shows that the loss of economic stability of an enterprise is basically caused by large external disturbances and strategic mistakes of the management. It examines the effect of the correlation between environment change rate and typical response rate of the enterprise on the management process and outlines the ways to improve the economic stability to external environment perturbations.

16th IFAC SYMPOSIUM ON AUTOMATIC CONTROL IN AEROSPACE. 75