

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 «АКИМ»

Отпечатано с готовых диапозитивов
в ООО «Риконта»,
г. Москва, Волгоградский пр-т,
д. 26, стр. 1

Подписано в печать
21.12.2004 г.

Заказ № 642

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

1.2005

СОДЕРЖАНИЕ

Общие вопросы теории управления

- Затуливетер Ю. С. Проблемы глобализации парадигмы управления в математически однородном поле компьютерной информации. Ч. I. Кибернетизация социосистемы. 2
- Лежава Г. К., Камкаидзе И. Ш., Верикишвили З. И. К вопросу о развитии семантической теории информации. 11

Анализ и синтез систем управления

- Жирабок А. Н. Дуальность нелинейных динамических систем. 13
- Чадеев В. М. Собственные движения динамических нелинейных цифровых объектов. 18
- Дыда А. А., Маркин В. Е. Системы управления с переменной структурой с парными и нелинейно деформируемыми поверхностями переключения. 22

Системный анализ и обработка данных

- Рыков А. С., Хорошилов В. О., Щипин К. С. Система прогнозирования инфекционной заболеваемости на основе многокритериального анализа временных рядов. 26

Управление в социально-экономических системах

- Stapleton L., Kile F. A post-structural analysis of progress in engineering. 33
- Жуковская Л. В. О моделях и методах управления сложными социально-экономическими динамическими системами. 38
- Пиявский С. А. Телекоммуникационная среда поддержки инновационной деятельности. 45

Проблемно ориентированные системы управления

- Буркова И. В., Толстых А. В., Уандыков Б. К. Модели и методы оптимизации программ обеспечения безопасности. 51
- Уткин А. Ю., Лебедев В. Г., Костикова Н. А. и др. Компьютерный тренажёрный комплекс для обучения персонала центрального пульта управления объекта уничтожения химического оружия. 56

Управление предприятиями

- Кучерявый А. В., Лясников Н. В., Шеметов В. В. Финансовая составляющая стратегической устойчивости предприятия. 62
- Кузнецов Л. А., Черных М. В. Новый подход к решению задачи планирования производственной деятельности организации. 66

Управление подвижными объектами

- Микрин Е. А., Кнутов А. С. Перспективы применения диагностической экспертной системы для наземного комплекса отработки бортового программного обеспечения Международной космической станции. 77

Хроника

- IV Международная конференция "Когнитивный анализ и управление развитием ситуаций" CASC'2004. 83

- Contents and abstracts. 88

ПРОБЛЕМЫ ГЛОБАЛИЗАЦИИ ПАРАДИГМЫ УПРАВЛЕНИЯ В МАТЕМАТИЧЕСКИ ОДНОРОДНОМ ПОЛЕ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФОРМАЦИИ. Ч. I. Кибернетизация социосистемы

Ю. С. Затуливетер

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

Рассмотрены обенности 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

Социальные процессы включают в себя и связывают все виды жизнедеятельности: производство, бизнес, госуправление, здравоохранение, образование, культуру, науку и др. Как и все процессы в живых системах, они чрезвычайно сложны, их взаимосвязи динамично развиваются с сохранением целостности системы. И целостность, и развитие обеспечиваются в соответствии с фундаментальным кибернетическим принципом обратной связи, составляющим суть парадигмы¹ управления и единую основу существования систем с управлением² различной природы [4].

Глобальная компьютерная среда (Сеть) — уникальное достижение. Впервые человечество получило в свое распоряжение глобальное информационное пространство с компьютерным инструмен-

том тотального системообразующего воздействия на социальную среду. Созданы технические предпосылки массовой кибернетизации социосистемы в целом. Благодаря возможностям резкого повышения качества управления социальными процессами кибернетизация открывает принципиально новые перспективы совершенствования уровня жизни каждого человека. При этом, однако, существенно возрастает и цена ошибок социального переустройства. Снижение рисков глобальных катастроф “сверх эффективного” по форме, но неадекватного по сути управления социальными процессами возможно только путем научного отбора, обоснования и идентификации безопасных, системно сбалансированных моделей управления процессами, протекающими в социосистеме.

С появлением глобального информационного пространства компьютерной среды парадигма управления обретает качественно новую — универсально программируемую и единую для различных систем — информационную “среду обитания”. До этого системы с управлением формировались и прогрессировали в условиях разнородных, слабо взаимодействующих и трудно совместимых информационных “подпространств”, возникавших

¹ *Парадигма* — исходная концептуальная схема, модель постановки проблем и их решения, методов исследования, господствующих в течение определенного исторического периода в научном сообществе [1].

² Термин *системы с управлением* употребляется в работах А. Г. Бутковского [2, 3].



из-за различия как функций систем, так и локальных форм их воплощения.

В несвязных или слабосвязных информационных средах жесткие рамки локализации систем принципиально ограничивают информационные обмены. Интеграция изначально локализованных систем в более крупные системы крайне затруднена принципиально неустранимым в таких условиях компонентом комбинаторной сложности. В этом фундаментальная причина ограничений качественного развития совокупностей локализованных систем, пребывающих в разрозненном информационном пространстве.

В слабосвязной информационной среде разнобразная специфика многочисленных реализаций и контекстов среды функционирования систем доминирует над общими принципами системообразования. В этом случае парадигма управления распадается на великое множество частных форм своего выражения и поэтому не может играть главенствующую системообразующую роль.

В Сети вместо изначальной локальности информационные связи между компонентами систем и системами в целом обретают изначальную глобальность. Теперь, с появлением глобального информационного пространства, открылись возможности компьютерной, т. е. универсальной, глобализации парадигмы управления. Ее цель — формирование в глобальной компьютерной среде единого, математически однородного *функционального* пространства для формирования систем с управлением различного назначения без изначальных требований локализуемости и осуществления процессов управления во всем глобальном информационном пространстве. Только в едином функциональном пространстве открываются качественно новые возможности эффективного использования и развития всего разнообразия систем с управлением. Корректная и сбалансированная кибернетизация социосистемы без этого невозможна.

Свойство глобальной связности информационного пространства составляет лишь необходимое условие. В излагаемом подходе исследуются достаточные условия глобализации парадигмы управления, которые выражаются свойствами математически однородного поля компьютерной информации.

В работе рассматриваются принципы кибернетизации социосистемы как важнейшей составной части проблем компьютерной глобализации парадигмы управления. Предлагается подход к глобализации парадигмы управления в математически однородном поле компьютерной информации на основе модели исчисления древовидных структур.

В первой части работы вводится в рассмотрение социометасистема как социосистема с управлени-

ем в глобальном информационном пространстве в самом общем виде. Проблемы компьютерной глобализации парадигмы управления формулируются и исследуются в контексте тенденций массовой кибернетизации социометасистемы.

Во второй части [5] на основе исчисления древовидных структур предлагаются и исследуются принципы формирования единого функционального пространства компьютерного воплощения глобально распределенных систем с управлением в математически однородном поле компьютерной информации.

1. ОСОБЕННОСТИ ПРОБЛЕМ КИБЕРНЕТИЗАЦИИ СОЦИОСИСТЕМЫ

До Сети социальное развитие происходило в условиях изначального неустранимого “дефицита” информации. В глобальном информационном пространстве “дефицит” информации сменился ее “перепроизводством”. Сложившиеся в докомпьютерные времена управляющие механизмы балансировки социальных процессов в принципе не пригодны для переработки экспоненциально растущих потоков информации.

Адаптация социосистемы к новым условиям требует кардинальных перемен в сложившихся структурах управления. Представляется безальтернативным, что в процессах управления с целями саморегулирования и самоорганизации социальной среды все большая часть потоков информации, отражающей текущее состояние социосистемы, должна замыкаться и перерабатываться в компьютерной среде в автоматических режимах.

Компьютерная глобализация информационного пространства стала сверхмощным информационным воздействием. Она приключилась по историческим масштабам внезапным скачком. Без теорий и планов. Рукотворный кибернетический аналог Большого Взрыва. Прежде “самодостаточная” социальная среда трансформируется в многоконтурную кибернетическую социометасистему с универсально программируемым компьютерным управлением, которая формируется с использованием совокупных вычислительных ресурсов Сети. Кибернетизация в глобальном информационном пространстве предполагает движение к правильному разделению функций управления социальными процессами между человеческой и компьютерной информационными средами в соответствии с принципиальными различиями в их возможностях переработки информации.

Вместе с массовой и многослойной социализацией Сети осуществляется беспрецедентный переход социосистемы в новое метасостояние [6]. Стихийная кибернетизация социосистемы запустила качественно новые процессы глобальной реструк-

туризации социальной среды. При этом возрастает удельный вес и значение быстропротекающих социально разноплановых процессов глобализации. Недостаточная их управляемость прежними механизмами ведет к утрате устойчивости социосистемы в целом.

Кардинальные перемены социосистемы неизбежны. Они начались и уже необратимы. Но, ввиду отсутствия исторических прецедентов, характер нарастающих проблем недостаточно изучен для их предсказуемого практического решения. Темпы, масштабы и температура социальных перемен растут бесконтрольно и слишком быстро, чтобы в гарантиях безопасности набирающих силу процессов глобализации полагаться на волю случая.

В масштабах всей социосистемы десятилетие Сети слишком короткий срок, чтобы преодолеть инерционность прежнего состояния социосистемы. В первые годы ее становления преобладали хаотические процессы сверхбыстрого количественного роста. Но сейчас уже сформировались и различимы фундаментальные общесистемные тенденции, которые подчиняются новым закономерностям развития.

Социосистема, погружающаяся в глобальное информационное пространство компьютерной среды, — объект внимания новейших междисциплинарных исследований. Научное исследование свойств качественно новой системы с управлением, проведение систематических и всесторонних исследований с целью определения возможных траекторий ее устойчивого развития представляется весьма актуальным.

Эффективность процессов управления с целями саморегулирования и самоорганизации социосистемы во многом зависит от свойств распределенного информационного пространства, в котором они осуществляются и взаимодействуют.

До Сети монополия на распределенную универсально программируемую обработку информации принадлежала человеческой информационной среде [7]. Все разнообразие контуров управления в социосистеме формировалось и замыкалось в распределенном информационном поле человеческого сознания. Локализованные “вкрапления” технических средств и технологий хранения, передачи и обработки информации связывались в контуры управления через человеческий фактор с его нестабильностью и ограниченными возможностями переработки больших объемов информации.

В глобальном информационном пространстве компьютерной среды открываются перспективы формирования автоматических контуров высокоэффективного управления процессами социального саморегулирования и самоорганизации. Возможности универсально программируемой переработки больших потоков информации, замкнутых в

глобальной компьютерной среде, потенциально неограничены.

С глобализацией информационного пространства формируются принципиально новые классы компьютерных задач. Их решение невозможно без использования вычислительных ресурсов глобальной компьютерной среды. В нашем рассмотрении особое значение имеют компьютерные задачи глобально распределенного управления социальными процессами. Такие задачи составляют смысловую основу кибернетизации социосистемы. Подчеркивая это обстоятельство, будем называть их *глобальными задачами управления*.

Глобальная проблематика социальной среды начиналась с формирования общих взглядов (“ноосфера”, “постиндустриальное общество”) и изучения отдельных “показательных” суперпроблем (“ядерная зима”, “парниковый эффект”), иллюстрирующих катастрофические эффекты неуправляемого техногенеза.

Тенденции к практически значимой глобализации задач выражены в концепции устойчивого развития человечества (“sustainable development”), которая была сформулирована как стратегическая линия на Конференции ООН по окружающей среде и развитию (ЮНСЕД) (1992 г., Рио-де-Жанейро).

Разнообразие глобальных задач растет. Создание под каждую задачу своего инструмента практически невозможно из-за ограничений времени и ресурсов. Для их решения требуются универсальные подходы и инструментарий.

Кибернетизация социосистемы предельно увеличивает разнообразие и повседневную значимость глобальных задач управления. Компьютерная среда открыла практические перспективы автоматического исполнения рутинных глобально-распределенных процессов управления и балансировки социальной среды. Ввиду несводимости локальных задач к глобальным требуются принципиально новые компьютерные индустриальные подходы к их решению.

2. СОЦИОМЕТАСИСТЕМА

Уточним понятия. *Парадигма управления* — совокупность проекций наших знаний об управлении на материальный и информационный компоненты мира. Эти проекции представляют собой разделенные информационные пространства со своими культурами. Взаимодействия между ними затруднены слабой совместимостью действующих в них языков внутреннего общения. *Глобализацию* какого-либо явления определим как расширение сфер его влияния до пределов возможного с их интеграцией путем подчинения метапарадигме нового уровня.



Социальная среда в целом вместе со всеми ресурсами, вовлеченными в ее развитие, служит общим объектом рассмотрения. Будем называть его *социометасистемой* M и воспринимать как нестационарную структурированную совокупность природных (в том числе живых) и искусственных систем и подсистем с управлением, так или иначе связанных с существованием и развитием социальной среды. Ее системы и подсистемы непрерывно взаимодействуют, изменяются. Изменяется состав: подсистемы соединяются в системы, системы распадаются на подсистемы. Изменяются структуры: на месте горизонтально-сетевых возникают вертикально-иерархические и наоборот.

Будем считать, что социометасистема состоит из трех компонентов сложной природы: собственно социальной среды S , всех доступных материальных ресурсов R , всех информационных ресурсов I , сопутствующих развитию. Далее полагать, что все информационные ресурсы I сведены в информационное пространство, в котором осуществляется полный набор фундаментальных видов действий с информацией — хранение, передача и преобразование.

Социометасистема развивается во взаимодействии с той частью внешнего мира, которая ей неподконтрольна. Она получает от нее внешние воздействия и способна оказывать воздействия на нее. Развитие осуществляется посредством социальных процессов, которые включают в себя все виды взаимозависимых и (или) независимых действий.

Социальные процессы в социометасистеме M протекают во взаимодействии всех трех компонентов S , R и I . Взаимодействуют простейшие элементы и подсистемы. Во взаимодействиях участвуют элементы или системы как одинаковых (например, только из S , только из R , только из I), так и разных типов. Подсистемы также могут состоять как из однотипных элементов и (или) подсистем, так и разнотипных.

Действия и взаимодействия — внешние, внутренние. Объекты взаимодействия — сигналы, элементы, подсистемы, системы, имеющие физическое или информационное (алгоритмы, программы, мнения) воплощение.

Главное внимание уделяется исследованию особенностей влияния информационных ресурсов I глобальной компьютерной среды на дальнейшее развитие социометасистемы.

Глобальное информационное пространство кардинально изменило свойства информационных процессов, протекающих в социометасистеме. Информационные потоки увеличились на порядки и оказались чрезмерными для существующих контуров управления социальными процессами. Их переработка в реальном времени становится невозмож-

ной. Ухудшается управляемость, нарастает неустойчивость.

Определение. *Социометасистема — нестационарная, не вполне структурированная совокупность систем и подсистем с управлением, функционирующих и взаимодействующих в глобальном информационном пространстве.*

Глобализация парадигмы управления составит универсальный механизм интеграции компьютерных решений. В качестве метапарадигмы нового уровня в нашем случае рассматривается модель исчисления древовидных структур [7—9]. Она рассматривается как основа для формирования в компьютерной среде математически однородного поля компьютерной информации со встроенным функционально полным базисом глобально-распределенного управления в социометасистеме. С ним открываются возможности решения всех этапов задач управления — от постановки до компьютерного воплощения — в едином математически ясном и понятном компьютерам формализме.

3. ЦЕЛЕПОЛАГАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ

Движущей силой социальных процессов являются человек и социальная среда, которая вырабатывает инициативы, а также реакции на внешние воздействия. Консервативной силой, оказывающей регламентирующее влияние на ход социальных процессов, являются природные законы и закономерности, а также вторичные соглашения и правила. Природные законы абсолютны, мгновенного действия. Закономерности глобальны, не отменяемы, возможно, нестационарны, возможно, отложенного действия. Вторичные соглашения и правила — регламент, ограниченный по сферам, силе и времени действия, возможно, нестационарный на интервале своей значимости.

Целеполагание в социометасистеме определяется множеством целевых условий, которые применимы к наблюдаемым параметрам системы через критериальные отображения.

В состав критериальных отображений, связанных с целевыми условиями, могут входить объективные и субъективные факторы влияния. Объективные предопределены природными законами и общесистемными закономерностями [4, 6, 7, 10]. Субъективные складываются как равнодействующие от разнонаправленных устремлений субъектов, находящихся под влиянием нестрогих и ограниченного интервала действия соглашений, правил и других регламентов.

Множества прямо или косвенно наблюдаемых параметров, критериальных отображений и целевых условий в общем случае не фиксированы (не стационарны) ни по составу, ни по свойствам своих компонентов. Нестационарность может иметь

природу принудительного воздействия, рекурсивной зависимости, стохастическую.

Наблюдаемые параметры (объективные замеры, субъективные — индивидуальные или групповые — мнения или решения и др.), критериальные отображения и целевые условия могут относиться к формализуемому или неформализуемому. В случае первых они процедурно вычислимы. В случае вторых — обрабатываются субъектами. Вычисления и обработки могут быть полными, частичными, некорректными. Результаты могут быть точными, приближенными, неправильными.

Разнообразие содержательных смыслов и области действия критериев и целей многовариантно и не ограничено. Смыслы могут быть объективны или субъективны.

Области действия — разные уровни системной иерархии и иерархии временных интервалов.

Критерии и цели разных уровней иерархии определяют характеристики социального прогресса. Социальный прогресс существенным образом связан с массовостью и качеством информационной инфраструктуры (в том числе с формами представления компьютерной информации), массовостью и качеством решения задач управления (в том числе саморегулирования и самоорганизации).

Теперь кратко о методах воплощения управления в социометасистеме.

Различают два вида методов формирования управляющих воздействий — прямые и косвенные.

Места подключения управляющих воздействий: для прямых методов управления — на отдельных элементах, на подсистемах, для косвенных — на отдельных соглашениях, правилах, и прочих регламентах.

Способы доставки воздействий к местам подключения: сигнал (физическое воздействие), сообщение (информационное воздействие). Воздействия могут быть полноценными, частичными, пропадающими.

Функции выработки управляющих воздействий могут иметь доступ к наблюдаемым параметрам, результатам проверки целевых условий. К функциям управления, к наблюдаемым параметрам и результатам проверки условий также применимо ранее отмеченное при описании критериальных отображений и целевых условий.

4. РОЛЬ КОМПЬЮТЕРНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Совокупная сложность всех работ с компьютерной средой чрезвычайно высока. Попробуем разложить ее по трем “независимым” направлениям (“осям”) проблем:

- машинная среда (проблемы управления машинными вычислительными ресурсами);

- алгоритмы (проблемы алгоритмизации с последующим программированием);
- модели (проблемы решения задач посредством составления формальных моделей).

Каждая из “осей” представляет во многом автономные культуры, распадающиеся на многие специализированные субкультуры, каждая со своим багажом опыта, методов, с литературой и профессиональными сленгами, не всегда доступными даже смежникам.

“Гиперплоскость” (Hard & Soft), образованная первыми двумя осями — монополярная, но весьма разнородная, территория компьютерщиков. Они создали свою индустрию и сектор мирового рынка, сумели добиться экономической независимости, которая обеспечивает сверхвысокие темпы компьютерного прогресса.

Третье направление объединило “предметников”, решающих сложные задачи с опорой на научные методы в своих “некомпьютерных” областях.

Компьютерная культура в значительной степени основывается на изобретательской активности и ассоциируется с метафорой “искусства” создания и программирования компьютеров. Логическую основу такой деятельности составляет классическая компьютерная аксиоматика в модели Дж. фон Неймана [11].

В части моделей прикладники опираются на результаты фундаментальных наук и математические методы создания и идентификации формальных моделей.

На самых ранних этапах создания компьютеров и средств программирования развитие по всем трем направлениям осуществлялось, главным образом, в рамках известных военных суперпроектов. Движущей (системообразующей) силой были элитарные интеллектуальные сообщества фундаментально образованных специалистов, со значительной долей “универсалов”, владевших разными аспектами проблематики разных направлений.

На этапах становления компьютерного рынка формировался спрос на широкий спектр продукции коммерческого значения. Главные приоритеты пополнились требованиями тиражируемости компьютеров и программ. Коммерциализация потребовала от компьютерной индустрии глубокой специализации культур и субкультур. Только она могла обеспечить рост тиражей и снижение издержек благодаря производительности труда.

Рыночная экономика опирается, прежде всего, на эволюционное правило локального противостояния: “выживает сильнейший”. Но для компьютерного рынка потребовался еще и постулат универсального машинного счета, который наряду с универсальностью, во-первых, гарантирует пригодность к массовой тиражируемости, во-вторых, легализует свойство изначальной неоднозначности.



ти форм представления компьютерной информации (программ и данных).

В острой борьбе за тиражи неслучайно победила классическая компьютерная аксиоматика, де-факто ставшая основой микропроцессорных архитектур. Благодаря ее принципиально неустранимому свойству неоднозначности форм представления программ и данных [9] стало возможным появление разнообразных компьютерных платформ, которые показали высокую эффективность конкуренции различных решений локализуемых компьютерных задач. Классическая аксиоматика лучше других вписалась в требования законов рынка и стала одной из главных опор конкурирующего производства-потребления компьютеров и программ, т. е. компьютерного рынка.

С помощью классической компьютерной аксиоматики, материализованной в микропроцессорных архитектурах, системообразующая роль быстро и надолго перешла к ... законам рынка. Прогрессивный рынок предполагает конкуренцию большого числа независимых производителей в борьбе за потребителя. На компьютерном рынке соревнуются архитектуры и программы. По этим законам чем больше разных конкурирующих архитектур и программ, тем лучше для потребителя. Рынок закрепил в многомиллионных тиражах изначально локальные компьютерные решения.

Массовая компьютеризация привела к формированию Сети. В условиях глобальной связности чрезмерное разнообразие форм представления компьютерной информации (программ и данных) становится главным тормозом компьютерного прогресса.

Интеграция изначально локальных, потому разнородных компьютерных решений и систем, требует преодоления нелинейного роста комбинаторной и системной сложности. Пришло время пересмотра сложившихся компьютерных ценностей и приоритетов. Требуется принципиально новые подходы к созданию глобально распределенных компьютерных архитектур и программно-инструментальных средств, а также систем управления на их основе. Они должны качественно изменить сложившееся трехосное пространство сложности "машинная среда — алгоритмы — модели".

Новым системообразующим фактором (вместо микропроцессоров и законов рынка) должна стать аксиоматика математически однородного поля компьютерной информации [9]. Она позволит строго математически (независимо от компьютерных платформ) регламентировать формы представления структурированной информации в глобальной компьютерной среде. При этом:

- на машинном уровне устраняются причины непрерывного воспроизводства плохо совместимых форм представления программ и данных,

обеспечивается эффективное автоматическое управление вычислительными ресурсами;

- на алгоритмическом уровне создаются условия для программирования всех задач в едином математическом базисе;
- на уровне моделей открываются возможности осуществления сложных композиций в математическом формализме, который воплощен в глобальной компьютерной среде как на машинном, так и на алгоритмическом уровнях.

Математически однородное поле компьютерной информации — путь к структурной и функциональной интеграции данных, программ и систем в пространстве всех трех "осей" сложности.

С появлением глобальной компьютерной среды доминирует тенденция к тотальной компьютеризации искусственных динамических систем с управлением. В результате массового перехода на компьютерные системы и сети все большее число и разнообразие динамических систем с управлением, все в большем объеме своих компонентов погружается в цифровое информационное пространство. В машинной памяти протоколируется все большая часть информации, представляющей не только внутренние состояния компьютеризованных динамических систем, но и текущие значения взаимодействий.

Глобальная доступность компьютерной информации делает такие динамические системы полностью открытыми для наблюдения. В любом месте, в любое время. Потенциально, такая же доступность осуществима и в отношении внешнего вмешательства во внутренние процессы.

Высокая наблюдаемость компьютеризованных динамических систем ведет к существенным переменам. Во-первых, из-за высокой типизации механизмов реализации систем она может привести к снижению сложности, себестоимости, повышению массовости. Во-вторых, она открывает возможности резкого повышения предсказуемости результатов управления (в плане характеристик достижения целей управления).

Такие изменения можно было бы назвать существенным прогрессом в массовости и в качестве процессов управления, если не принимать во внимание содержательного смысла целеполаганий.

С учетом масштабов и высоких темпов компьютеризации в осязаемой перспективе социометасистема в целом может (вслед за многими своими подсистемами) кардинально изменить свои динамические свойства. Потенциальная возможность протоколировать в памяти значительную часть информации, сопровождающей социальные процессы, провоцирует соблазны чрезмерного контроля социальных процессов. Тем не менее, как и во многих других техногенных приобретениях, положительный эффект тотальной компьютеризации

вполне достигим посредством правильной системной балансировки достоинств и недостатков. Резкое повышение наблюдаемости на уровне технических реализаций может компенсироваться различными способами защиты на уровне компьютерной информации.

5. ГЛОБАЛЬНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ И ЕГО ПОСЛЕДСТВИЯ

Феномен глобализации компьютерной среды и информационного пространства I — принципиально новый фактор влияния на социальную среду. Он нарушает сложившийся между компонентами S , R и I социометасистемы баланс, что ведет к утрате её устойчивости. Имея характер внезапного и сверхмощного возмущения, он несет в себе и созидательный, и разрушительный потенциал.

До сих пор социометасистема развивалась, преодолевая дефицит информации. При сверхбыстром и полном погружении в глобальное информационное пространство она испытывает тотальный удар экспоненциального роста информационных потоков. Ныне действующие механизмы саморегулирования и самоорганизации не способны к их своевременной и достаточно полной переработке. Когда информационные потоки превышают пороги пропускной способности, система теряет устойчивость. По своим последствиям информационный удар может быть столь же фатален для системы, как и физическое разрушение.

Никогда прежде социосистема не подвергала себя столь высокому риску срыва с траекторий социального прогресса. Похоже, что мировые социальные процессы практически уже вошли в зоны бифуркаций. Последствия особенно отягощаются тем, что человечество успело инициировать множество глобальных, практически неконтролируемых, процессов самоликвидации. Поэтому большую часть спонтанных вариантов траекторий самопроизвольного (без осознанного вмешательства) выхода из зоны бифуркаций нельзя считать благоприятной.

Возмущения глобальны и носят качественно новый — метасистемный характер [6]. Инстинкты самосохранения, отработанные в конкурентной борьбе и перманентных войнах, не способны распознавать и вовремя устранять столь масштабные и непривычные угрозы информационной природы. В отсутствие адекватных механизмов саморегулирования и самоорганизации запасов “прочности” надолго не хватит. Известные и скрытые деструктивные процессы способны развернуться лавинообразно с быстрыми и необратимыми изменениями.

В управляющих структурах социометасистемы из-за отсутствия прецедентов пока еще нет адекватных механизмов, гарантирующих устойчивое

развитие в кардинально меняющемся информационном пространстве.

На рис. 1 (см. цветную вклейку) показано соединение социальной информационной S и компьютерной C сред в социокomпьютерную метасистему M .

Отметим, что переходные процессы имплантации компьютерной среды в социометасистему, шедшие в течение десятилетия, отчасти устанавливаются.

Итоги первого этапа компьютерной глобализации информационного пространства социометасистемы следующие.

- В отсутствие универсальной модели глобально-распределенных вычислений пространство WWW сформировалось в модели гипертекста. Изначально не являясь функционально полной, она могла обеспечить глобализацию только коммуникационных и накопительных функций. Глобализация содержательной переработки гипертекстовой информации компьютерами практически отсутствует.
- Массовое вовлечение информационно активных пользователей, опережающий рост потоков информации. Человеческая среда, на которую выведены эти потоки, не успевает их перерабатывать в реальном времени. Колоссальный потенциал программируемого интеллекта сотен миллионов компьютеров WWW отключен от растущих потоков.

Информационное переполнение снижает эффективность сложившихся ранее структур управления. Растет неустойчивость социальной среды.

Выход из нарастающего общесистемного кризиса возможен только посредством замыкания большей части растущих информационных потоков на компьютерную среду. Многие предпосылки для перехода социометасистемы в следующее состояние уже сложились.

6. НОВОЕ СОСТОЯНИЕ И ДИНАМИКА СОЦИОМЕТАСИСТЕМЫ

Решая различные информационные задачи, социальная среда интегрирует их в себе как непрерывно исполняемую сверхзадачу управления с целями саморегулирования и самоорганизации. Ее результат — социальный прогресс.

Информационной активности человека присущи два начала: творческое и рутинное. И оба они лежат в основании социального прогресса. Рутинная мобилизует способности к циклической деятельности, которая закрепляет и расходует потенциал достигнутого уровня прогресса. Жизненный уровень социумов во многом определяется эффективностью исполнения информационной рутины.



С появлением компьютеров и глобальной компьютерной сети работает простой критерий разделения рутинных и нерутинных функций. Рутинные — те, которые программируются и автоматически исполняются в компьютерной среде.

Социальной среде предстоит делегировать компьютерной значительную часть управляющих функций саморегулирования и самоорганизации, сводимых к алгоритмам. Этот процесс соответствует переходу социометасистемы в следующее состояние, которое характеризуется новой системной структурой (рис. 2, см. цветную вклейку). Функции переработки информации должны будут глобально разделены и закреплены в новых социальных институтах: массовая рутина управления переносится в компьютерную среду, несводимые к рутине функции остаются в поле сознания социальной среды.

На рис. 2 показана социометасистема в “дипольной” фазе следующего устойчивого состояния и циркулирующие в ней информационные потоки.

В идеале компьютерная среда берет на себя информационную рутину, человеческая, освобождаясь от большей ее части, концентрируется на задачах, недоступных машинному интеллекту.

В результате “поляризации” выделяются две функционально автономные среды, при этом $F_s(\cdot)$ и $F_c(\cdot)$ — интегральные информационные функции, соответственно, человеческой и компьютерной сред, а также перераспределяются информационные потоки между ними. Рассмотрим возникающие потоки.

- Внешние потоки информации (взаимодействие с внешним миром): $W[t] = (x[t], y[t])$, где $x[t]$ — входные (например, через сеть датчиков значения параметров мирового океана), $y[t]$ — выходные (например, значения выбросов загрязнений в атмосферу), t — дискретное время. Считаем, что $x[t] = (x_s[t], x_c[t])$, где $x_s[t]$, $x_c[t]$ — внешние воздействия на человеческую и компьютерную среды, соответственно, а $y[t] = (y_s[t], y_c[t])$, где $y_s[t]$ и $y_c[t]$ — влияние социальной и компьютерной сред на внешний мир.
- “Внутридипольные” потоки:
 - внутриполосная информация, циркулирующая в человеческой информационной среде: $q[t]$ — нерутинная, $r[t]$ — рутинная;
 - внутриполосная информация, циркулирующая в компьютерной среде: $d[t]$ — компьютерная (заведомо рутинная) информация (данные и программы);
 - межполосный обмен между человеческой и компьютерной информационными средами: $v[t]$ — поток из человеческой в компьютерную, $z[t]$ — поток из компьютерной в человеческую.

Динамика функционирования социометасистемы в аналитическом виде выражается следующим образом:

$$\left\{ \begin{array}{l} t_0 = 0 \\ q[t_0] = q_0 \\ r[t_0] = r_0 \\ d[t_0] = d_0 \\ (y_s[t_i], v[t_i], q[t_i], r[t_i]) = \\ \quad = F_s(q[t_{i-1}], r[t_{i-1}], z[t_{i-1}], x_s[t_i]) \\ (y_c[t_i], z[t_i], d[t_i]) = F_c(d[t_{i-1}], v[t_{i-1}], x_c[t_i]) \\ i = 1, 2, \dots \end{array} \right. \quad (1)$$

Здесь внешние воздействия $x[t] = (x_s[t], x_c[t]) \in X_i$ и $y[t] = (y_s[t], y_c[t]) \in Y_i$, а также внутренние состояния $q[t_i] \in Q_i$, $r[t_i] \in R_i$, $d[t_i] \in D_i$, $v[t_i] \in V_i$, $z[t_i] \in Z_i$, где t_i — структурированное разномасштабное время, X_i , Y_i , Q_i , R_i , D_i , V_i и Z_i — нестационарные многоуровневые структурированные множества допустимых значений.

В соответствии с принципами графодинамики [12, 13], значения переменных внешних воздействий и внутренних состояний динамических систем в каждый момент времени могут быть представлены динамическими структурами. Применительно к социометасистеме (1) динамические структуры будем представлять в компьютерном формализме исчисления древовидных структур, реализованном в системе программирования Парсек [8, 14]. В нашем рассмотрении модель исчисления древовидных структур составляет конструктивную основу математически однородного поля компьютерной информации [9].

На рис. 3 (см. цветную вклейку) иллюстрируются формы представления текущих значений переменных системы (1). Структуры значений переменных в компьютерном представлении имеют вид двоичных деревьев системы программирования Парсек, которые мы рассматриваем как единую и универсальную форму представления данных и программ в математически однородном поле компьютерной информации.

Особое внимание следует обратить на то, что в модели (1) время t_i также имеет структуру. Представление о характере такой структуры дает третья колонка в таблице (см. рис. 3). Структурированное время отражает разнообразие масштабов времени взаимодействующих процессов, протекающих в социометасистеме.

Области значений X_i , Y_i , Q_i , R_i , D_i , V_i и Z_i переменных, представляемых структурами, также структурированы. Это означает, что области значений переменных не являются только однородными множествами, а представляются композициями разнородных множеств. На рис. 4 (см. цветную вклейку) иллюстрируется принцип структуризации конечных множеств декартовыми произведе-

ниями. Такие композиции разнородных конечных множеств будем называть декартовыми пространствами. В правой колонке приведено дерево, представляющее декартово пространство $P = (A11 \otimes A12) \otimes B \otimes C \otimes (D11 \otimes D21)$, составленное из различных множеств $A11$, $A12$, B , C , $D11$ и $D21$.

В системе (1) осталось определить $F_s(\cdot)$ и $F_c(\cdot)$ — метафункции преобразования совокупных потоков информации, представляющие собой компьютерные интерпретаторы распределенных виртуальных информационных машин, определяющих технологически замкнутые правила обработки информации социальной и компьютерной средами, соответственно. Отметим, что на компьютерном уровне обе метафункции могут быть формально раскрыты.

При определении виртуальной машины метафункции $F_s(\cdot)$ не требуется сводить человеческий интеллект к алгоритму, просто достаточно определить интерфейсы взаимодействия человека с компьютерной средой. Человек взаимодействует с системой либо как неформализованный преобразователь информации в языковой системе с той или иной степенью формализации, либо в прямом неформализованном взаимодействии с себе подобными (в режимах обмена информацией). Интеллект субъектов задействуется в социометасистеме через массовые и разнообразные интерфейсы взаимодействия с компьютерной средой.

Определение виртуальной машины метафункции $F_c(\cdot)$ полностью алгоритмизируется. Программируемая виртуальная машина всей компьютерной среды может быть построена в архитектуре универсального глобально распределенного метакомпьютера [15, 16]. Содержательная часть метафункции $F_c(\cdot)$ определяется всей совокупностью компьютерных программ, задействованных в глобальном информационном пространстве.

Общая модель (1) динамики социометасистемы дает единую основу для постановки и решения глобальных задач управления. Система (1) составляет методологическую основу для глобализации парадигмы управления в математически однородном поле компьютерной информации. Подробнее об этом во второй части работы [5].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Глобальная компьютерная среда способна стать массовым универсально программируемым каналом обратной связи (потенциально неограниченной пропускной способности) между социальной средой со всеми ее структурами и человеческим сознанием (интеллектом), носителем которого она является. Компьютеры смогут взять на себя многие функции глобально распределенного управления в целях саморегулирования и самоорганизации социумов. Обеспечивая в реальном времени сбор информации о текущем состоянии социальной сре-

ды, ее переработку, выработку и доставку управляющих воздействий, компьютерная среда может стать универсальным инструментом обеспечения устойчивого развития человечества.

Такое развитие ведет к соединению компьютерной и социальной сред в единую кибернетическую социометасистему. Для исследования объекта такой сложности требуется обновление ныне действующих компьютерных канонов и канонов управления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Советский энциклопедический словарь. — М.: Советская энциклопедия, 1990. — С. 978.
2. Бутковский А. Г. К общей теории управления // Междунар. конф. по пробл. упр. (29 июня–2 июля 1999 г.): Сб. плен. докл. — М., 1999. — С. 24–33.
3. Бутковский А. Г. О единой геометрической теории управления // Проблемы управления. — 2003. — № 1. — С. 8–12 (<http://www.ipu.ru/period/ru>).
4. Винер Н. Кибернетика или управление и связь в животном и машине. — М.: Наука, 1983. — 166 с.
5. Затуливетер Ю. С. Проблемы глобализации парадигмы управления в математически однородном поле компьютерной информации. Ч. II. К единому функциональному пространству // Проблемы управления. — 2005. — № 2 (в печати).
6. Турчин В. Ф. Феномен науки. — М.: ЭТС, 2000. — 368 с.
7. Затуливетер Ю. С. Информация и эволюционное моделирование // Тр. междунар. конф. "Идентификация систем и задачи управления" SICPRO'2000. г. Москва, 26–28 сент. 2000 г. / ИПУ РАН. — М., 2000. — С. 1529–1573 (<http://zvt.hotbox.ru/1529.htm>).
8. Затуливетер Ю. С., Халатян Т. Г. ПАРСЕК — язык компьютерного исчисления древовидных структур с открытой интерпретацией. Стендовый вариант системы программирования. — М.: Ин-т пробл. управления 1997. — 71 с.
9. Затуливетер Ю. С. К новой компьютерной аксиоматике // Тр. III междунар. конференции "Идентификация систем и задачи управления" SICPRO'04, 28–30 января 2004 г., г. Москва, ИПУ РАН. — М., 2004. — С. 2187–2193.
10. Прангишвили И. В. Системный подход и общесистемные закономерности. — М.: Синтез, 2000. — 528 с.
11. Беркс А., Голдстейн Г., Нейман Дж. Предварительное рассмотрение логической конструкции электронного вычислительного устройства // Кибернетический сборник. — 1964. Вып. 9. — С. 7–67.
12. 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.
13. Айзерман М. А., Гусев Л. А., Петров С. В., Смирнова И. М. Динамический подход к анализу структур, описываемых графами (Основы графодинамики). II // Там же. — № 9. — С. 123–136.
14. Затуливетер Ю. С., Фищенко Е. А. Организация распределенных вычислений в системе программирования ПАРСЕК на примере сжатия цифрового видео // Проблемы управления. — 2003. — № 4. — С. 6–10 (<http://www.ipu.ru/period/ru>).
15. Затуливетер Ю. С. На пути к глобальному программированию // Открытые системы. — 2003. — № 3. — С. 46–47 (<http://www.osp.ru/os/2003/03/046.htm>).
16. Затуливетер Ю. С. К глобальному компьютеру // Тр. всеросс. научн. конф. "Научный сервис в сети Интернет" (22–27 сент. 2003 г., г. Новороссийск). — М.: МГУ. — 2003. — С. 186–189.

☎ (095) 334-92-09

E-mail: zvt@ipu.ru





К ВОПРОСУ О РАЗВИТИИ СЕМАНТИЧЕСКОЙ ТЕОРИИ ИНФОРМАЦИИ

Г. К. Лежава, И. Ш. Камкамидзе, З. И. Верикишвили

Институт кибернетики Грузинской академии наук, г. Тбилиси

Рассмотрен подход к решению проблемы развития семантической теории информации, основанный на применении ассоциативной системы индуктивного вывода как приемника информации и позволяющий дифференцировать два вида информации: “образующую базу знаний” информацию и “текущую актуальную” информацию. Определена количественная мера для этих видов информации.

Для развития семантической теории информации необходимо располагать возможностью описания приемника информации, преобразующего поступающие на его вход сигналы в понятия и образы. Такой подход [1] обуславливает сильную зависимость теории от “субъективного фактора”, от конкретного приемника информации и от его текущего состояния. На первый взгляд, это обстоятельство обесценивает подход, делает его малоэффективным.

Ниже будет сделана попытка показать, что данный подход продуктивен и дает возможность исследовать ряд интересных вопросов. В частности, он дает возможность четко разграничить два вида информации. Назовем их “текущей актуальной” информацией и информацией, “образующей базу знаний”.

Четкое разграничение не означает противопоставление или взаимоисключение этих двух видов информации. Один и тот же сигнал, действующий на входе приемника, может одновременно содержать как текущую актуальную, так и образующую базу знаний информацию. Поэтому в некоторых случаях целесообразно говорить не о двух видах, а о двух составляющих информации.

Подход дает возможность не только разграничить названные два вида информации, но и ввести их точную количественную меру.

Как видно из названия, текущая актуальная информация позволяет системе, содержащей приемник информации, выбрать адекватную сенсорному воздействию реакцию из своего репертуара реакций. При этом не происходит какого-либо воздействия на базу знаний, на “опыт”, накопленный приемником; не происходит и каких-либо изменений в его памяти. Эта информация никак не влияет на дальнейшие реакции, на дальнейшее поведение системы. В данном случае мы имеем в определенном смысле линейную составляющую информационного воздействия.

Что касается образующей базу знаний информации, то она вызывает изменение базовых знаний. Это приводит к изменению, корректировке характера последующих реакций системы. Поэтому в этом случае мы имеем нелинейную составляющую информационного воздействия.

Будем полагать, что простым приёмником информации, как и в работе [1] является оптоэлектронный процессор [2]. Процессор представляет собой ассоциативное устройство индуктивного вывода.

В памяти ассоциативного устройства может быть задано множество $\{\vec{x}_1, \dots, \vec{x}_\alpha, \dots, \vec{x}_N\}$ векторов $\vec{x}_{1\alpha} = \{x_i\}$, $i = 1, \dots, d$, в виде координат точек в некотором d -мерном пространстве. При поступлении на вход устройства некоторого вектора такой же размерности $\hat{\vec{x}} = \{\hat{x}_i\}$ на его выходе одновременно

возникает множество значений $\sum_{i=1}^d f(\hat{x}_i - x_i)_{\alpha}$, $\alpha = 1, \dots, N$. При соответствующем выборе вида функции f эти значения можно трактовать либо как множество расстояний от точки $\hat{\vec{x}}$ до всех заданных точек \vec{x}_α , либо как меру сходства некоторых описаний, заданных вектором $\hat{\vec{x}}$ и векторами \vec{x}_α .

Такой процессор может быть полезен при решении задач, где требуется быстрый индуктивный вывод, например, при реализации непараметрических алгоритмов распознавания, задач беспилотной навигации, задач управления сложными объектами и др.

Действующие на входе процессора сенсорные воздействия с разной степенью интенсивности возбуждают выходы, соответствующие различным понятиям и образам, — осуществляется преобразование пространства сенсорных воздействий в пространство понятий и образов. При этом характер преобразования полностью определяется предысторией, тем, что зафиксировано в памяти процессора.

Последовательность $\sum_{i=1}^d f(\hat{x}_i - x_i)_{\alpha}$ заменим по-

следовательностью условных вероятностей $P(\alpha/\hat{\vec{x}})$, т. е. последовательностью условных вероятностей

того, что сенсорному воздействию $\hat{\vec{x}}$ приемник будет ставить в соответствие определенную последовательность понятий и образов с вероятностями

$P(\alpha/\hat{\vec{x}}) \rightarrow \sum_{i=1}^d (\hat{x}_i - \vec{x})$. Естественно полагать, что ес-

ли значения $P(\alpha/\hat{\vec{x}})$ близки друг к другу, воздействие $\hat{\vec{x}}$ можно считать мало информативным. И наоборот, если среди значений последовательности

$P(\alpha/\hat{x})$ имеется ярко выраженный максимум, воздействие \hat{x} можно считать высоко информативным.

Из приведенных рассуждений следует, что для оценки количества текущей актуальной информации, получаемой приемником при сенсорном воздействии \hat{x} , может быть применено выражение, аналогичное формуле Шеннона [3]:

$$H = - \sum_{\alpha=1}^N P(\alpha/\hat{x}) \log P(\alpha/\hat{x}). \quad (1)$$

Такое определение количества текущей актуальной информации имеет существенное преимущество. Правда, в классической теории количества информации определено с помощью аналогичной формулы, однако там фигурирует понятие “ансамбля”; необходимо иметь конечную полную таблицу вероятностей. Это не создает никаких трудностей при решении задач связи и подобных задач, т. е. задач, для которых и создавалась шенноновская теория. Телеграфный аппарат не сопоставляет поступающим сигналам какие-либо понятия и образы. Он просто печатает на бумаге символы, которые взаимно однозначно соответствуют поступающим сигналам. Поэтому классическая теория способна оценить лишь величину поступающего на вход приемника разнообразия, а содержание, закодированное в этом разнообразии, остается вне этой теории. Не менее важно и то обстоятельство, что составление конечных полных таблиц вероятностей, легко осуществляемое для классических задач связи, для подавляющего большинства процессов, связанных с обменом информацией, не только затруднительно, но и лишено какого-либо смысла [4]. В системе излагаемых представлений всегда существует конечная полная таблица вероятностей, формула (1) имеет совершенно иной смысл и может быть применена для описания значительно более широкого класса информационных процессов.

Теперь введем количественную меру информации, образующей базу знаний. Система индуктивного вывода формирует понятия и образы путем наложения отображений описаний отдельных реализаций этих понятий и образов в процессе накопления опыта или обучения.

В памяти оптоэлектронного процессора [2] запись такого описания \hat{x}_j , состоящего из d параметров, занимает отдельную строку страницы данных, содержащей d столбцов. Значения отдельных компонентов x_i записываются в виде интерполирующих функций $f(x - x_i)_j$, $i = 1, \dots, d$.

Когда $j = 1$, т. е. когда в памяти записано описание только одной реализации некоторого понятия или образа, характер оценки меры близости (или сходства) \hat{x}_j и действующего на сенсоры воздействия \hat{x} определяется видом функции f .

При дальнейшем обучении, когда в память будут введены описания K реализаций, оценка меры близости осуществляется с помощью функции

$$\frac{1}{K} \sum_{j=1}^K f(x - x_i)_j, \quad i = 1, \dots, d, \quad (2)$$

и вид этой функции определяет характер распределения интенсивностей сигналов на N выходах приемного устройства. Таким образом, после ввода описания каждой очередной реализации производится корректировка, уточнение выражения (2) и соответствующим образом корректируются значения $P(\alpha/\hat{x})$.

Процедура такой “корректировки знаний” в значительной степени схожа с процедурой построения оценки плотности распределения случайной величины методом обобщенных гистограмм (методом окон Парзена) [5, 6]. Отличается она тем, что дисперсия интерполирующих функций остается постоянной, в то время как в случае окон Парзена при $j \rightarrow \infty$ она медленно стремится к нулю. Можно показать, что в случае постоянной дисперсии процедура ведет не к построению функции плотности распределения, а к свертке функции плотности распределения и интерполирующей функции.

Так как на практике почти всегда мы имеем дело с малыми значениями K , результаты, получаемые с помощью процедур “корректировки знаний” и окон Парзена, получаются идентичными. Отметим, что процедура “корректировки знаний” в отличие от процедуры Парзена, по своей сути не асимптотическая. Поэтому она требует своей нестатистической интерпретации.

Таким образом при вводе в память каждого последующего описания происходит “корректировка знаний”. Коррекцию δ' для каждой i -й компоненты можно выразить следующим образом:

$$\delta' = \left| \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K f(x - x_i)_j - \frac{1}{K+1} \sum_{j=1}^{K+1} f(x - x_i)_j \right|,$$

а полную коррекцию —

$$\delta = \sum_{i=1}^d \left| \frac{1}{K} \sum_{j=1}^K f(x - x_i)_j - \frac{1}{K+1} \sum_{j=1}^{K+1} f(x - x_i)_j \right|.$$

Правоммерно считать, что чем больше δ , т. е. чем большее влияние на базу знаний оказывает используемое при обучении описание \hat{x}_j , тем больше информации несет оно для данного приемника. Следовательно, величина δ может служить мерой информации, образующей базу данных.

ЛИТЕРАТУРА

1. Lezhava G., Tevzadze R. For the Subject of Estimation of Semantic Information // 7-th international multiconference “System engineering, cybernetics and computer science” 2003, Orlando, Florida, USA.
2. Lezhava G. Optical Computations and Artificial Intellect // Ibid.
3. Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication // Bell System Techn. J., 1948. — Vol. 27, № 3—4.
4. Marian Masur. The Qualitative theory of the information. — Warsaw, 1970 (on Polish).
5. Parzen E. On estimation of a probability density function and mode // Ann. Math. stat. 1962. — Vol. 33, № 3.
6. Duda R. O., Hart P. E. Pattern Classification and Scene Analysis. — New York, 1973.

E-mail: glezhava@hotmail.com

□

ДУАЛЬНОСТЬ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ¹

А. Н. Жирабок

Дальневосточный государственный технический университет, г. Владивосток

Установлена дуальность свойств наблюдаемости и управляемости нелинейных непрерывных и дискретных динамических систем.

ВВЕДЕНИЕ

Известно, что для линейных динамических систем наблюдаемость и управляемость являются дуальными понятиями [1], причем эта дуальность выражается средствами аппарата теории матриц. Известен также факт дуальности наблюдаемости и управляемости в нелинейном непрерывном случае для специального класса систем [2], проявляющийся в дуальности векторных полей и дифференциальных форм. Для нелинейных дискретных динамических систем такая дуальность установлена в работе [3] средствами специального математического аппарата — алгебры функций [4] и носит теоретико-категорный характер. В работе [5] были рассмотрены так называемые разложимые системы в некоторой категории и показана дуальность наблюдаемости и управляемости в этом случае.

Естественным представляется тот факт, что дуальность выражается средствами того математического аппарата, с помощью которого анализируются наблюдаемость и управляемость.

Настоящая работа является естественным продолжением работы [3] на класс нелинейных непрерывных и дискретных динамических систем, описываемых уравнениями

$$\dot{x}(t) = f(x(t), u(t)), y(t) = h(x(t)) \quad (1)$$

и

$$x(t+1) = f(x(t), u(t)), y(t) = h(x(t)), \quad (2)$$

соответственно, где $x \in X \subseteq R^n$, $u \in U \subseteq R^m$, $y \in Y \subseteq R^l$ — векторы состояния, управления и выхода, f и h — в общем случае нелинейные векторные функции. Будем обозначать системы (1) и (2) пятеркой $S = (X, U, Y, f, h)$. Задача настоящей работы заключается в установлении вида дуальности наблюдаемости и управляемости для рассматриваемого класса систем.

Согласно работам [2, 3] систему S будем называть ненаблюдаемой, если существуют состояния $x(t_0)$ и $x'(t_0)$ такие, что для произвольного управления $u(\tau)$ на интервале $[t_0, \infty)$ выполняется равенство $H(x(t_0), u(\tau)) = H(x'(t_0), u(\tau))$, где $H(x(t_0), u(\tau))$ — выходная реакция системы S в начальном состоянии $x(t_0)$ на управление $u(\tau)$, $\tau > t_0$. Состояния $x(t_0)$ и $x'(t_0)$ будем называть эквивалентными. Систему S будем называть неуправляемой, если для некоторого состояния x_0 существует такое состояние x' , что ни для какого конечного интервала $t_1 - t_0$ не существует управления $u(\tau)$, переводящего систему из состояния $x_0 = x(t_0)$ в состояние $x' = x(t_1)$.

Для анализа общих свойств наблюдаемости и управляемости будем использовать конструкцию гомоморфизма систем [6, 7].

1. ОБЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ О ГОМОМОРФИЗМАХ СИСТЕМ

Пусть $\varphi: X \rightarrow X'$ — произвольная (для системы (1) — дифференцируемая) функция. Будем называть ее гомоморфизмом системы S в некоторую систему $S' = (X', U', Y', f', h')$ с $U' = U$, $Y' = Y$ и за-

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 03-01-00791) и Министерства образования и науки РФ.

писывать $\varphi: S \rightarrow S'$, если в дискретном случае коммутативны диаграммы

$$\begin{array}{ccc} X \times U & \xrightarrow{f} & X \\ \downarrow \varphi \pi_X \times \pi_U & & \downarrow \varphi \\ X' \times U & \xrightarrow{f'} & X' \end{array} \quad \begin{array}{ccc} X & \xrightarrow{h} & Y \\ \downarrow \varphi & & \downarrow e_Y \\ X & \xrightarrow{h'} & Y, \end{array} \quad (3)$$

т. е. $\varphi(f(x, u)) = f'(\varphi(x), u)$ для всех $x \in X, u \in U$, где π_X и π_U — проекции (т. е. $\pi_X(x, u) = x$ и $\pi_U(x, u) = u$), e_Y — тождественная функция. Конструкция $\varphi \pi_X \times \pi_U$ означает, что проекции π_X и π_U выделяют из пары (x, u) соответствующие компоненты, первая из которых преобразуется функцией φ , и затем вновь формируется пара $(\varphi(x), u)$. Формальное определение знака “ \times ” будет дано в § 2. В непрерывном случае функция φ у правой стрелки первой из диаграмм (3) заменяется на матрицу Якоби $d\varphi/dx$ и требование коммутативности дает равенство $(d\varphi/dx)(f(x, u)) = f'(\varphi(x), u)$.

Нетрудно видеть, что если гомоморфизм φ неинъективен, то система S ненаблюдаема; в § 3 будет показано обратное. Следовательно, система S ненаблюдаема в том и только том случае, когда существует неинъективный гомоморфизм $\varphi: S \rightarrow S'$. Напомним, что функция φ называется инъективной, если из $\varphi(x) = \varphi(x^*)$ следует $x = x^*$.

Систему $S^* = (X^*, U^*, Y^*, f^*, h^*)$ с $U^* = U$ и $Y^* = Y$ назовем минимальным образом системы S , если существует сюръективный гомоморфизм $\varphi^*: S \rightarrow S^*$ и для произвольного гомоморфизма $\varphi: S \rightarrow S'$ найдется такой гомоморфизм $\varphi': S' \rightarrow S^*$, что коммутативна диаграмма

$$\begin{array}{ccc} & S & \\ \varphi^* \swarrow & & \searrow \varphi \\ S^* & \xleftarrow{\varphi'} & S' \end{array} \quad (4)$$

Напомним, что функция $\varphi^*: X \rightarrow X^*$ называется сюръективной, если для произвольного $x^* \in X^*$ существует прообраз $x \in X$ такой, что $\varphi^*(x) = x^*$; иными словами, если $\varphi^*(X) = X^*$.

Теорема 1. Минимальный образ единственен с точностью до изоморфизма и наблюдаем.

Доказательство теоремы полностью повторяет доказательство аналогичной теоремы в работе [3] для дискретного случая и поэтому не приводится.

Из сказанного следует важная роль функции φ^* . Ясно, что если функция φ^* неинъективна, то система S ненаблюдаема. Обратно, пусть φ^* инъективна; так как согласно диаграмме (4) для произвольного гомоморфизма $\varphi: S \rightarrow S'$ справедливо $\varphi' \varphi = \varphi^*$,

то функция φ также инъективна [8]. В силу произвольности функции φ отсюда следует, что система S наблюдаема; иными словами, у нее нет эквивалентных состояний.

Перейдем к анализу управляемости; традиционный подход к этой задаче базируется на анализе поведенческих особенностей системы на различных входных воздействиях. Даже при использовании такого абстрактного математического аппарата, как теория категорий, для анализа управляемости разложимых систем вводится конструкция счетной степени объекта (множества) U , моделирующая произвольные входные воздействия [5]. В настоящей работе предлагается другой подход, непосредственно связанный с идеями дуальности.

Из определения следует, что в неуправляемой системе некоторые состояния недостижимы из начального состояния. Это можно связать с существованием некоторого несуръективного гомоморфизма $\psi: S' \rightarrow S$. Перейдем к формальным конструкциям.

Систему $S_* = (X_*, U_*, Y_*, f_*, h_*)$ с $U_* = U, Y_* = Y$ назовем максимальным прообразом системы S , если существует инъективный гомоморфизм $\psi_*: S_* \rightarrow S$ и для произвольного гомоморфизма $\psi: S' \rightarrow S$ найдется такой гомоморфизм $\psi': S_* \rightarrow S'$, что коммутативна диаграмма

$$\begin{array}{ccc} & S & \\ \psi_* \swarrow & & \searrow \psi \\ S_* & \xrightarrow{\psi'} & S' \end{array} \quad (5)$$

Теорема 2. Максимальный прообраз единственен с точностью до изоморфизма и управляем.

Теорема доказывается по аналогии с теоремой 1.

Нетрудно видеть, что если некоторый гомоморфизм $\psi: S' \rightarrow S$ несуръективен, то система S неуправляема; в § 3 будет показано обратное. Из сказанного следует, что если функция ψ_* несуръективна, то система S неуправляема. Обратно, пусть ψ_* сюръективна; так как согласно диаграмме (5) для произвольного гомоморфизма $\psi: S' \rightarrow S$ справедливо $\psi \psi' = \psi_*$, то функция ψ также сюръективна [8]. В силу произвольности функции ψ отсюда следует, что система S управляема.

Наша дальнейшая задача состоит в выявлении некоторых свойств функций φ^* и ψ_* и получении ряда конструкций, демонстрирующих искомую дуальность. Для этого предлагается применить специальный математический аппарат, положенный в основу работ [3, 4]. Коротко изложим его основные положения, сделав акцент на дуальности; необходимые детали и доказательства можно найти в работах [3, 4].



2. АЛГЕБРА ФУНКЦИЙ

Рассматриваемый математический аппарат содержит четыре основные конструкции. Пусть $G(G^*)$ — множество функций с областью определения (значений) X .

- Отношения частичного предпорядка \leq и \ll : для произвольных функций $a, b \in G$ и $a^*, b^* \in G^*$ будем записывать как $a \leq b$ и $a^* \gg b^*$, если существуют функции g и g^* такие, что коммутативны диаграммы

$$\begin{array}{ccc} & X & \\ a \swarrow & & \searrow b \\ S & \xrightarrow{g} & W \end{array} \quad \begin{array}{ccc} & X & \\ a^* \swarrow & & \searrow b^* \\ S^* & \xleftarrow{g^*} & W^* \end{array}, \quad (6)$$

где S, W, S^* и W^* — некоторые множества. Нетрудно видеть, что если π_a и π_b — разбиения, индуцируемые функциями a и b на множестве X , то $a \leq b$ тогда и только тогда, когда $\pi_a \leq \pi_b$. Дуально, если $a^*(S^*)$ и $b^*(W^*)$ — образы множеств S^* и W^* в X , то $a^* \gg b^*$ тогда и только тогда, когда $a^*(S^*) \supseteq b^*(W^*)$.

Если $a \leq b$ и $b \leq a$ ($a^* \ll b^*$ и $b^* \ll a^*$), будем записывать $a \approx b$ ($a^* \approx b^*$) и говорить, что эти функции эквивалентны. Нетрудно видеть, что эквивалентным функциям соответствуют одинаковые разбиения или образы.

- Операции \times и \square : прямым произведением $a \times b$ функций a и b и прямой суммой $a^* \square b^*$ функций a^* и b^* назовем функции g и g^* такие, что коммутативны диаграммы

$$\begin{array}{ccc} & X & \\ a \swarrow & & \searrow b \\ S & \xrightarrow{\pi_S} S \times W \xrightarrow{\pi_W} & W \end{array} \quad \begin{array}{ccc} & X & \\ a^* \swarrow & & \searrow b^* \\ S^* & \xrightarrow{\tau_{S^*}} S^* \square W^* \xleftarrow{\tau_{W^*}} & W^* \end{array}, \quad (7)$$

где \times — прямое произведение множеств S и W , \square — прямая сумма множеств S^* и W^* , π_S и π_W — проекции, τ_{S^*} и τ_{W^*} — вложения [8]. Из определений прямого произведения и прямой суммы множеств следует, что функции g и g^* единственны. Введенным конструкциям можно дать эквивалентные определения:

$$a \times b = \max\{g | g \leq a, g \leq b\}, \\ a^* \square b^* = \min\{g^* | g^* \gg a^*, g^* \gg b^*\}.$$

- Бинарные отношения Δ и Δ^* : $(a, b) \in \Delta$ и $(a^*, b^*) \in \Delta^*$, если коммутативны следующие диаграммы:

$$\begin{array}{ccc} X \times U & \xrightarrow{f} & X \\ \downarrow a\pi_X \times \pi_U & & \downarrow b \\ S \times U & \xrightarrow{d} & W \end{array} \quad \begin{array}{ccc} X \times U & \xrightarrow{f} & X \\ \uparrow a^* \pi_{S^*} \times \pi_U & & \uparrow b^* \\ S^* \times U & \xrightarrow{d^*} & W^* \end{array}, \quad (8)$$

где d и d^* — некоторые функции. В непрерывном случае функции b и b^* заменяются на матрицы Якоби db/dx и db^*/dw^* , соответственно.

- Операторы M и m : $M(b)$ — это максимальная функция, образующая с функцией b пару:

$$(M(b), b) \in \Delta, (a, b) \Delta \Rightarrow a \leq M(b);$$

$m(a^*)$ — это минимальная функция, с которой функция a^* образует пару:

$$(a^*, m(a^*)) \in \Delta^*, (a^*, b^*) \in \Delta^* \Rightarrow m(a^*) \ll b^*.$$

Правила вычисления операций и операторов и их свойства содержатся в работах [3, 4].

Как следует из сравнения приведенных парных диаграмм, они показывают дуальность определяемых ими отношений предпорядка, операций и операторов, при этом дуальность состоит в инвертировании всех стрелок на диаграммах (кроме тех, которые определяют исходную систему).

3. АНАЛИЗ НАБЛЮДАЕМОСТИ И УПРАВЛЯЕМОСТИ

Сравнивая диаграммы (3), (6), (8) и учитывая определение оператора M , с очевидностью заключаем, что функция φ является гомоморфизмом систем $S \rightarrow S'$ в том и только том случае, когда справедливы неравенства

$$\varphi \leq h, \quad \varphi \leq M(\varphi). \quad (9)$$

Пусть система S ненаблюдаема; определим неинъективную функцию φ следующим образом: $\varphi(x) = \varphi(x')$ тогда и только тогда, когда состояния x и x' эквивалентны, т. е. $H(x, u) = H(x', u)$. Нетрудно видеть тогда, что для эквивалентных состояний из равенства $\varphi(x) = \varphi(x')$ следует $h(x) = h(x')$; кроме того, из $\varphi(x) = \varphi(x')$ и коммутативности диаграммы (3) следует $\varphi(f(x, u)) = \varphi(f(x', u))$ для системы (2) и $(d\varphi/dx)(f(x, u)) = (d\varphi/dx)(f(x', u))$ для системы (1). Сравнивая это с определениями отношения \leq и оператора M , заключаем, что справедливы неравенства (9). Таким образом, система S ненаблюдаема в том и только том случае, когда существует неинъективный гомоморфизм $\varphi: S \rightarrow S'$.

Положим $h^0 = h$,

$$h^{k+1} = h^k \times M(h^k), \quad k = 0, 1, 2, \dots; \quad (10)$$

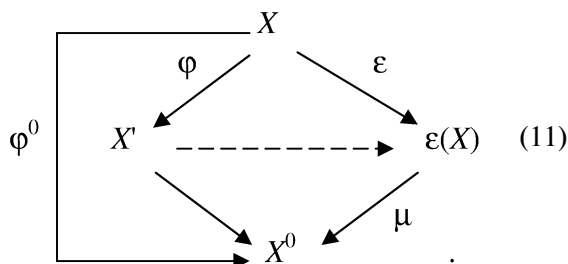
если $h^{r+1} \approx h^r$ при некотором r , то функция $\varphi^0 = h^r$ является наибольшей, удовлетворяющей неравенствам (9) [4], и, следовательно, является гомоморфизмом $S \rightarrow S^0$ для некоторой системы $S^0 = (X^0, U, Y, f^0, h^0)$. Из экстремального свойства функции φ^0 (так же, как и для функции φ^*) нетрудно заключить, что она может быть взята в качестве крите-

рия наблюдаемости: система S наблюдаема в том и только том случае, когда функция φ^0 инъективна.

Факторизуем функцию φ^0 , т. е. представим ее в виде $\varphi^0 = \mu \varepsilon$, где μ — инъективная, а ε — сюръективная функции; факторизация единственна с точностью до изоморфизма [7]. Оказывается, что функция ε , как и φ^0 , обладает экстремальным свойством в классе сюръективных функций.

Теорема 3. Если некоторая сюръективная функция φ является гомоморфизмом $S \rightarrow S'$, то $\varphi \leq \varepsilon$.

Доказательство. Так как φ^0 — наибольший среди всех гомоморфизмов системы S , то $\varphi \leq \varphi^0$. Изобразим это на коммутативной диаграмме (сплошные стрелки):



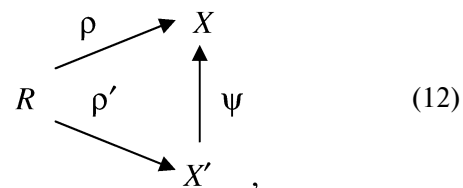
Отсюда с учетом сюръективности φ и инъективности μ на основании леммы Зейгера о пополнении [7] получаем, что существует единственная функция $X' \rightarrow \varepsilon(X)$ (штриховая стрелка), дополняющая диаграмму до коммутативной, что и позволяет установить требуемое неравенство.

Поскольку гомоморфизм φ^* (см. диаграмму (4)) сюръективен, то на основании теоремы 3 имеем $\varphi^* \leq \varepsilon$. В работе [3] показано, что в дискретном случае функция ε также является гомоморфизмом, а тогда из определения функции φ^* следует неравенство $\varepsilon \leq \varphi^*$, что в итоге дает $\varepsilon \approx \varphi^*$. Если системы (1) и (2) линейны, то, сравнивая полученные результаты с результатами работы [1], можно сделать вывод о том, что множество $\varepsilon(X)$ соответствует фактор-пространству $X/X^\#$, а функция ε — каноническому отображению $X \rightarrow X/X^\#$, где $X^\#$ — нуль-пространство матрицы наблюдаемости линейной системы.

Перейдем к анализу управляемости; здесь мы будем опираться только на первую из диаграмм (3), поскольку функция h в этом анализе не участвует, и описывать систему тройкой $S = (X, U, f)$.

Для получения дуальных конструкций при анализе управляемости по аналогии с работой [5] введем функцию $\rho: R \rightarrow \{x_0 = x(t_0)\}$, где R — произвольное множество. Ограничимся задачей анализа управляемости класса систем, у которых начальное состояние x_0 достижимо из некоторого другого состояния. От гомоморфизма $\psi: S' \rightarrow S$ допол-

нительно потребуем, чтобы для некоторой функции ρ' была коммутативной диаграмма



что означает согласование начальных состояний систем S' и S . Напомним, что из диаграмм (3) рассматривается только первая из них.

Сравнивая диаграммы (3), (6), (8) и (12) и учитывая определение оператора m , с очевидностью заключаем, что функция ψ является гомоморфизмом $S' \rightarrow S$ в том и только том случае, если справедливы неравенства

$$\rho \ll \psi, \quad m(\psi) \ll \psi. \quad (13)$$

Пусть S неуправляема и $K(x_0)$ — область достижимости этой системы с начальным состоянием x_0 . Обозначим $X' = K(x_0)$, f' — сужение функции f на множество X' и рассмотрим систему $S' = (X', U' = U, f')$. Введем функцию ψ с условием $K(x_0) \subseteq \psi(X')$. Нетрудно видеть, что справедливы соотношения $f(\psi(x'), u) = \psi(f'(x', u))$ для системы (2) и $f(\psi(x'), u) = (d\psi/dx')(f'(x', u))$ для системы (1). Сравнивая это с определением отношений \ll и Δ^* и оператора m , заключаем, что справедливы неравенства (13). Таким образом, система S неуправляема тогда и только тогда, когда существует не-сюръективный гомоморфизм $\psi: S' \rightarrow S$.

Положим $\rho^0 = \rho$,

$$\rho^{k+1} = \rho^k \square m(\rho^k), \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (14)$$

Теорема 4. Если $\rho^{r+1} \approx \rho^r$ при некотором r , то функция $\psi_0 = \rho^r$ является наименьшей, удовлетворяющей неравенствам (13), и, следовательно, она является гомоморфизмом $S_0 \rightarrow S$ для некоторой системы $S_0 = (X_0, U, Y, f_0, h_0)$ с $h_0 = h\psi_0$.

Доказательство. Пусть $\rho^{r+1} \approx \rho^r$; тогда на основании условий (14) для функции $\psi_0 = \rho^r \approx \rho^{r+1}$ справедливо соотношение $\psi_0 \approx \psi_0 \square m(\psi_0)$. Так как для операции \square выполняется неравенство $\psi_0 \square m(\psi_0) \gg m(\psi_0)$, то на основании предыдущего получаем $\psi_0 \gg m(\psi_0)$. Справедливость соотношения $\rho \ll \psi_0$ следует непосредственно из цепочки неравенств $\rho = \rho^0 \ll \rho^1 \ll \dots \ll \rho^r = \psi_0$. Пусть для некоторой функции ψ выполняются условия (14). Из первого из них с учетом свойства монотонности оператора m следует неравенство $m(\rho) \ll m(\psi)$, что вместе с условием $m(\psi) \ll \psi$ дает неравенство $m(\rho) \ll \psi$. Рассматривая его вместе с условием $\rho \ll \psi$, на основании свойства отношения \ll получаем неравенство $\rho \square m(\rho) \ll \psi$ или $\rho^1 \ll \psi$. Продолжая



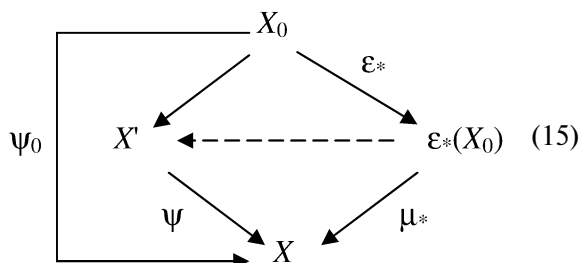
аналогично, получим $\rho^2 \ll \psi$, ..., $\rho^r \ll \psi$, откуда $\psi_0 = \rho^r \ll \psi$.

Из экстремального свойства функции ψ_0 (так же, как и для функции ψ_*) нетрудно заключить, что она может быть использована при анализе управляемости: система S управляема в том и только том случае, когда ψ_0 сюръективна.

Факторизуем функцию ψ_0 , т. е. представим ее в виде $\psi_0 = \mu_* \varepsilon_*$, где μ_* — инъективная, а ε_* — сюръективная функции. Как и ψ_0 , функция μ_* обладает экстремальным свойством в классе инъективных функций.

Теорема 5. Если некоторая инъективная функция ψ является гомоморфизмом $S' \rightarrow S$, то $\psi \gg \mu_*$.

Доказательство. Так как ψ_0 — наименьший среди всех гомоморфизмов вида $S_0 \rightarrow S$, то $\psi \gg \psi_0$. Изобразим это на коммутативной диаграмме (сплошные стрелки):



Так как функция ψ инъективна, а ε_* сюръективна, то на основании леммы Зейгера о пополнении [7] получаем, что существует единственная функция $\varepsilon_*(X_0) \rightarrow X'$ (штриховая стрелка), дополняющая диаграмму до коммутативной, что и позволяет установить требуемое неравенство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, для анализа свойств наблюдаемости и управляемости нелинейных непрерывных и дискретных динамических систем на основе специального математического аппарата (алгебры функций) получен ряд соотношений. Нетрудно видеть, что основные конструкции алгебры функций вводились дуальными парами (диаграммы (6)—(8) и определения операторов M и m). Дуальность здесь понимается в теоретико-категорном смысле как совпадение соответствующих комму-

тативных диаграмм с точностью до инвертирования стрелок (кроме тех из них, которые описывают рассматриваемые системы). В её основе лежит дуальность, установленная для разложимых систем [5, 9]. Дуальными же получаются и соотношения, описывающие задачи наблюдаемости и управляемости: (9) и (13), (10) и (14) (сравните также правую диаграмму (3) и (12), диаграммы (4) и (5), (11) и (15)); заметим, что свойства инъективности и сюръективности функций также являются дуальными понятиями [8].

Отметим, что по сравнению с дискретным случаем [3] число дуальных пар уменьшилось, в частности, перестали быть дуальными почти все свойства операций и операторов алгебры функций. Нетрудно видеть, что это — естественный результат расширения класса рассматриваемых систем до непрерывных и дискретных. Главный вывод, тем не менее, сохранился: дуальность свойств наблюдаемости и управляемости в нелинейном случае — это теоретико-категорная дуальность.

ЛИТЕРАТУРА

1. Уонэм М. Линейные многомерные системы управления. — М.: Наука, 1980. — 376 с.
2. Hermann R., Krener A.J. Nonlinear controllability and observability // IEEE Trans. Automat. Control. — 1977. — Vol. AC-22. — № 5. — P. 728—740.
3. Жирабок А. Н. Дуальность свойств наблюдаемости и управляемости нелинейных динамических систем // Известия РАН. Теория и системы управления. — 1998. — № 1. — С. 5—8.
4. Жирабок А. Н., Шумский А. Е. Функциональное диагностирование непрерывных динамических систем, описываемых уравнениями с полиномиальной правой частью // Автоматика и телемеханика. — 1987. — № 8. — С. 154—164.
5. Arbib M., Manes E. Foundation of system theory: decomposable systems // Automatica. — 1974. — Vol. 10. — P. 285—302.
6. Hartmanis J., Stearns R. Algebraic structure theory of sequential machines. — N.-Y.: Prentice-Hall Inc., 1966. — 211 p.
7. Калман Р., Фалб П., Арбиб М. Очерки по математической теории систем. — М.: Мир, 1971. — 400 с.
8. Голдблат Р. Топосы. Категорный анализ логики. — М.: Мир, 1983. — 488 с.
9. Данилов В. В., Жирабок А. Н. Управляемость и наблюдаемость разложимых систем // Кибернетика и вычислительная техника. — 1987. — Вып. 73. — С. 19—26.

☎ (4232) 45-08-64

E-mail zhirabok@mail.ru



ВНИМАНИЮ АВТОРОВ И ЧИТАТЕЛЕЙ!

Журнал "ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ" входит в Перечень периодических научных изданий, рекомендуемых ВАК для публикации научных работ, отражающих основное научное содержание докторских диссертаций.

СОБСТВЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ НЕЛИНЕЙНЫХ ЦИФРОВЫХ ОБЪЕКТОВ¹

В. М. Чадеев

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

Рассмотрены цифровые динамические системы с дискретным временем, в которых значения входа и выхода ограничены фиксированной разрядной сеткой.

ВВЕДЕНИЕ

Быстрое развитие вычислительных машин открывает совершенно новые возможности для управления. В частности, при идентификации нелинейных объектов появилась возможность не перебирать структуры, а просто наращивать данные в банке данных. Больше того, при ограниченном диапазоне изменения входных и выходных переменных число возможных структур становится ограниченным. Возникает вопрос, какими свойствами обладают объекты из этого ограниченного (разрядными сетками входа и выхода) набора структур? В статье рассматриваются некоторые свойства нелинейных динамических объектов с дискретным временем.

1. СТРУКТУРА ИССЛЕДУЕМЫХ ОБЪЕКТОВ

Рассмотрим объект вида

$$y_{n+1} = f(y_n, u_n), \quad (1)$$

где y_n — выход объекта в n -м такте, u_n — вход объекта. На рис. 1 показана его схема, в соответствии с которой выход является нелинейным преобразованием $f(\cdot)$ входа и запаздывающего на один такт выхода. Некоторые аспекты идентификации объектов вида (1) были рассмотрены в работе [1]. Будем рассматривать только детерминированные объекты. Это означает, что переменные в скобках формулы (1) однозначно определяют значение выхода и никаких других, в том числе и случайных, переменных нет.

Частным случаем нелинейного объекта (1) является линейный объект первого порядка (инерционное звено)

$$y_{n+1} = ay_n + bu_n, \quad (2)$$

где a и b — константы.

Без потери общности везде ниже будем предполагать все переменные двоичными. В этом случае в разрядах будут только значения 0 и 1, которые будут использоваться и как логические переменные.

Будем предполагать, что объект (1) цифровой, и его вход занимает s , а выход — q двоичных разрядов. Для объекта первого порядка (1) это означает, что на его входе действуют $s + q$ логических переменных. Соответственно, каждый разряд выхода определяется собственной логической функцией этих логических переменных. При таком предположении число возможных нелинейных преобразований ограничено.

Действительно, значение произвольного, например, i -го разряда выхода определяется следующей таблицей нелинейных преобразований (табл. 1).

Элементами этой таблицы являются только нули и единицы. Она содержит все (!) возможные значения входов. В правом столбце необходимо проставить значение первого разряда выхода для соответствующего входного вектора. Входной вектор — это строка, состоящая из входа u_n и старого выхода y_n . Для каждого разряда выхода необходимо составить такую таблицу, q таких таблиц (по одной для каждого разряда выхода) полностью определяют произвольный нелинейный объект первого порядка (т. е. с глубиной памяти в один такт). Правый столбец в табл. 1 можно рассматривать как одно (2^{s+q}) -разрядное число. Значение первого разряда этого числа обозначим через $Q1$, второго — $Q2$ и так далее, последнего — $Q2^{s+q}$. Набор из

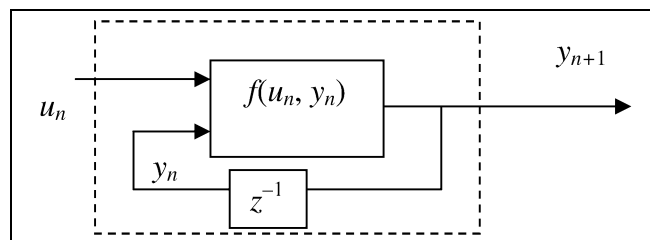


Рис. 1. Структура нелинейного динамического объекта

¹ Работа доложена на III Международной конференции «Идентификация систем и задачи управления» SICPRO'04, Москва, 2004.



Таблица 1

Таблица нелинейных преобразований для одного первого разряда выхода

n	u_n				y_n				y_{n+1}
	$u1$	$u2$	...	us	$y1$	$y2$	...	yq	$y1$
1	0	0	0	0	—	—	—	—	$y1(1)$
2	1	0	0	0	—	—	—	—	$y1(2)$
\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	\vdots	—	—	—	—	—
2^{s+q}	1	1	1	1	—	—	—	—	$y1(2^{s+q})$

2^{s+q} этих двоичных чисел полностью определяет произвольный нелинейный объект с единичной глубиной памяти.

Отсюда легко определить общее число N нелинейных объектов первого порядка с s -мерным входом и q -мерным выходом. В соответствии с теоремой Шеннона [2, 3]

$$N = 2^{q(2^{s+q})} \quad (3)$$

вариантов.

Для реальных цифр это громадное число. Например, если и на вход и на выход отводится по байту ($s + q = 16$), то $N \approx 10^{157\,000}$. Это число со 157 тысячами нулей (семьдесят страниц текста). При этом описание структуры любого конкретного объекта занимает не более $q2^{s+q}$ бит памяти. Для нашего примера это будет не более 64 Кбайт.

Очевидное свойство цифровых объектов вида (1) заключается в том, что возможные структуры сложных объектов (с большими s и q) включают в себя все возможные структуры более простых объектов (с меньшими s и q); т. е. простые структуры являются частью возможных структур более сложных объектов.

Для того чтобы попытаться установить закономерности в распределении структур нелинейных объектов, рассмотрим примеры моделирования поведения простых объектов.

2. МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ ОБЪЕКТОВ

2.1. Простейший объект

Пусть $s = 1$ и $q = 1$. В этом случае вход и выход принимают два значения 0 и 1. В соответствии с формулой (3) общее число вариантов будет равно 16.

Структуру объекта можно задавать с помощью таблицы соответствий, которая для конкретного объекта представлена в табл. 2. В первых двух столбцах содержатся все возможные варианты входных векторов, а в правом столбце — набор нулей и единиц, полностью определяющий структуру объекта.

Как показало моделирование, собственная реакция (при постоянном входе $u = \text{const}$) любой из 16-ти структур может быть только трех видов:

- 1) $Y = 1, 1, 1$;
- 2) $Y = 0, 0, 0$;
- 3) $Y = 0, 1, 0, 1, 0, 1, 0$.

Все данные о реакции конкретных структур сведены в табл. 3, где в клетках приведены десять первых тактов реакции соответствующей структуры.

Как видно из табл. 3, нулевую собственную реакцию дают 50% всех возможных структур, единичную — 25 и 25% структур являются генераторами периодической последовательности с периодом в два такта. Других реакций нет. Отметим, что вид реакции зависит и от того, какой постоянный сигнал действует на входе в объект.

2.2. Простой объект

Рассмотрим простой объект, когда $s = 1$, $q = 2$. В этом случае вход принимает два значения 0 и 1, а выход четыре — 0, 1, 2, 3. В соответствии с формулой (3) общее число вариантов будет примерно 64 000. Даже для такого простого объекта оно необозримо велико.

Ограничимся поэтому исследованием только собственных движений объекта при нулевых начальных условий и нулевом входе. Число вариантов сократится до 256, а таблицы соответствий для

Таблица 2

Таблица соответствия

u_n	y_n	y_{n+1}
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

Таблица 3

Реакции одноразрядного объекта

Структура объекта	Значение входа U	
	$U = 0$	$U = 1$
0000	0000000000	0000000000
0001	0000000000	0000000000
0010	0000000000	0101010101
0011	0000000000	0111111111
0100	0000000000	0000000000
0101	0000000000	0000000000
0110	0000000000	0101010101
0111	0000000000	0111111111
1000	0101010101	0000000000
1001	0101010101	0000000000
1010	0101010101	0101010101
1011	0101010101	0111111111
1100	0111111111	0000000000
1101	0111111111	0000000000
1110	0111111111	0101010101
1111	0111111111	0111111111

Таблица 4а

Таблица соответствий для первого разряда выхода

u_n	y_n		y_{n+1}
$u1$	$y1$	$y2$	$y1$
0	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	1
0	1	1	1

Таблица 4б

Таблица соответствий для второго разряда выхода

u_n	y_n		y_{n+1}
$u1$	$y1$	$y2$	$y1$
0	0	0	1
0	1	0	0
0	0	1	1
0	1	1	1

первого и второго разрядов выхода примут вид, показанный в табл. 4а, 4б.

Двоичные вектора в правых столбцах табл. 4а и 4б полностью определяют объект, его реакцию, его поведение и собственные движения. Нам удобно будет представлять числа в этих столбцах в восьмеричном виде. Конкретно в табл. 4а $Q1 = 03$, а в табл. 4б $Q2 = 13$. Эти числа изменяются в диапазоне от 00 до 17. Хотя существует 256 видов структур, разных видов собственных движений гораздо меньше. Выделим три группы реакций.

- Выход объекта остается равным нулю. Эту реакцию дают 64 структуры с номерами от 00-00 до 07-07 (см. далее табл. 5). Кстати, в эту группу входят и все линейные объекты, поскольку в соответствии с уравнением (2) при нулевом входе и

нулевых начальных условиях выход будет тождественно равен нулю при любых параметрах a и b .

- Выход в асимптотике принимает постоянное значение 1, 2 или 3.
- Объект генерирует периодические последовательности с периодом w , равным 2, 3 или 4 тактам, и с амплитудой a , равной 1, 2 или 3.

Все реакции сведены в табл. 5, где 0 означает нулевую реакцию, C — постоянную реакцию, а V — периодическую последовательность.

Как видно из табл. 5, нулевые реакции составляют 25% всех структур, генераторы 40%, константы — 35%.

3. ПЕРИОД ГЕНЕРИРУЕМОЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Примерно половина из 256-ти структур простейшего нелинейного объекта составляют генераторы, которые при нулевом входе и нулевых начальных условиях генерируют периодические последовательности с периодом от 2 до 4 тактов. Очевидно, что более сложные объекты (с большей глубиной памяти и большей разрядностью выхода) включают в себя и простейший объект. Таким образом, генераторы составляют неотъемлемую часть возможных нелинейных структур. При случайном выборе структуры из пространства возможных структур вероятность получить генератор равна 0,5 для простейшего нелинейного объекта. Неизвестно, как изменяется эта вероятность для более сложных объектов.

Сформулируем две теоремы.

Теорема 1. Среди нелинейных объектов первого порядка с q двоичными разрядами выхода существуют генераторы последовательности с периодом 2^q .

Доказательство. Рассмотрим таблицу соответствий объекта с q -разрядным выходом (табл. 6).

Таблица 5

Таблица реакций

—	00	01	02	03	04	05	06	07	10	11	12	13	14	15	16	17
00	0	0	0	0	0	0	0	0	V	V	V	V	C	C	C	C
01	0	0	0	0	0	0	0	0	V	V	V	V	C	C	C	C
02	0	0	0	0	0	0	0	0	V	V	V	V	C	C	C	C
03	0	0	0	0	0	0	0	0	V	V	V	V	C	C	C	C
04	0	0	0	0	0	0	0	0	V	V	V	V	V	V	V	V
05	0	0	0	0	0	0	0	0	V	V	V	V	V	C	V	C
06	0	0	0	0	0	0	0	0	C	C	V	V	V	V	V	V
07	0	0	0	0	0	0	0	0	C	C	V	V	V	V	C	C
10	V	V	V	V	V	V	C	C	V	V	V	V	V	V	V	C
11	V	V	V	V	V	V	C	C	V	C	V	C	V	C	C	C
12	C	C	V	V	C	C	V	C	V	V	V	V	V	V	V	C
13	C	C	V	C	C	C	V	C	C	C	V	C	C	C	V	C
14	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V	V
15	V	V	V	V	V	V	V	C	V	C	V	C	V	C	V	C
16	C	C	V	V	C	C	V	V	V	C	V	V	V	V	V	V
17	C	C	V	C	C	C	V	C	C	C	V	C	C	C	V	C



В ней содержится 2^q строк. В q столбцах её левой части записаны последовательно возрастающие значения входа объекта $y(n)$ от 0 до $2^q - 1$. Всего 2^q значений. В правой части записаны значения выхода $y(n+1)$, соответствующего входу $y(n)$. Так как значения $y(n)$ в разных строках таблицы разные, то такая таблица будет непротиворечива; т. е. одинаковым значениям $y(n)$ слева (“причинам”) не будут соответствовать разные значения $y(n+1)$ справа (“следствия”). Этой таблице соответствует объект, генерирующий пилообразный сигнал с периодом 2^q . Это и доказывает утверждение теоремы.

Кстати, старший разряд выхода y_{q-1} тоже будет иметь период 2^q .

Рассмотрим простейший объект q -го порядка с одноразрядным двоичным выходом. Такой объект описывается уравнением

$$y_{n+1} = f(y_n, y_{n-1}, \dots, y_{n-q+2}, y_{n-q+1}).$$

Докажем утверждение относительно длины последовательности, которую могут генерировать такие объекты q -го порядка.

Теорема 2. Среди нелинейных объектов q -го порядка существуют генераторы двоичной последовательности с периодом $2^q - 1$.

Доказательство. Рассмотрим таблицу соответствий для объекта с q одноразрядными входами и одним одноразрядным выходом (табл. 7). Строку из q одноразрядных входов в её левой час-

Таблица 6

Таблица соответствий для q -разрядного выхода

N	$y(n)$					$y(n+1)$				
	y_{q-1}	y_{q-2}	...	y_1	y_0	y_{q-1}	y_{q-2}	...	y_1	y_0
1	0	0	...	0	0	0	0	...	0	1
2	0	0	...	0	1	0	0	...	1	0
3	0	0	...	1	0	0	0	...	1	1
4	0	0	...	1	1	0	0	...	0	0
...
$2^q - 2$	1	1	...	0	1	1	1	...	1	0
$2^q - 1$	1	1	...	1	0	1	1	...	1	1
2^q	1	1	...	1	1	0	0	...	0	0

Таблица 7

Таблица соответствий для объекта q -го порядка

N	$y(n+1-q)$	$y(n+1-q)$	...	$y(n-1)$	$y(n)$	$y(n+1)$
1	0	0	...	0	0	1
2	0	0	...	0	1	0
3	0	0	...	1	0	1
4	0	0	...	1	1	0
...
$2^q - 2$	1	1	...	0	1	0
$2^q - 1$	1	1	...	1	0	1
2^q	1	1	...	1	1	0

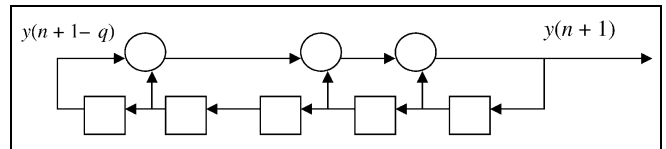


Рис. 2. Генератор двоичной последовательности

ти можно рассматривать, как q -разрядный регистр сдвига, в котором информация в каждом такте продвигается справа налево.

В теории кодирования применяются регистры сдвига для создания генераторов двоичных последовательностей [4]. На рис. 2 показана схема такого генератора, квадратами показаны регистры сдвига на один такт, а кружками — сумматоры по модулю 2. Доказано, что для любого числа регистров q существуют генераторы, выдающие псевдослучайную двоичную последовательность максимальной длины с периодом $2^q - 1$.

Если составить таблицу соответствий, учитывая алгоритм работы генератора, то полученный нелинейный объект будет генерировать последовательность максимальной длины. Таким образом, для любого числа сдвигов q существует таблица соответствий, эквивалентная нелинейному объекту, генерирующему последовательность длины $2^q - 1$. Что и требовалось доказать.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема выбора структуры нелинейного динамического объекта — наиболее сложная в теории идентификации. Ее решению, по-видимому, будет посвящено ближайшее десятилетие науки об управлении. Бурное развитие вычислительной техники, хотя и не упростило решения переборных задач (с которыми связан выбор структуры), но все же позволило решать многие практические задачи, которые были неразрешимы еще совсем недавно. Однако “нет ничего практичнее хорошей теории”, а ее пока нет. Надеемся, что эта работа будет небольшим кирпичиком в строящемся здании теории идентификации нелинейных динамических цифровых объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лотоцкий В. А., Чадева В. М. Полвека идентификации систем // Труды SICPRO'2000. — М.: Институт проблем управления, 2000.
2. Shannon C. E. The synthesis two-terminal switching circuits // Bell. System Techn. J. — 1949. Vol. 28.
3. Shannon C. E. A Symbolic Analysis of Relay and Switching Circuits. Trans. of the AIEE. — 1938. Vol. 57. P. 713—773.
4. Питерсон У. Коды, исправляющие ошибки. — М.: Мир, 1964.

☎ (095) 334-87-59

E-mail: chavama@ipu.rssi.ru



СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ С ПАРНЫМИ И НЕЛИНЕЙНО ДЕФОРМИРУЕМЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ

А. А. Дыда, В. Е. Маркин

Институт автоматики и процессов управления, г. Владивосток

Рассмотрена проблема управления сложными динамическими объектами в условиях неопределенности. Предложены качественно новые алгоритмы и системы адаптивного управления с переменной структурой с использованием парных и нелинейно деформируемых поверхностей переключения. На примере простых адаптивных систем с переменной структурой показано, что предлагаемый подход позволяет существенно улучшить динамические показатели работы системы, снизив при этом энергетические затраты на управление в скользящем режиме.

ВВЕДЕНИЕ

Одна из актуальных проблем современной теории управления состоит в разработке новых высокоэффективных законов управления сложными динамическими объектами в условиях структурно-параметрической неопределенности. В качестве подобных объектов могут рассматриваться космические и подводные аппараты, манипуляционные роботы и др. Математические модели таких объектов управления существенно нелинейные и многомерные. Кроме того, практически невозможно получить полное уравнение модели объекта вследствие его параметрической неопределенности. Все эти факторы существенно затрудняют построение качественного управления сложными динамическими объектами. Методы линейной теории управления зачастую не позволяют достичь приемлемых динамических показателей работы системы. Один из подходов к решению задачи синтеза управления объектами в условиях неопределенности заключается в применении систем с переменной структурой (СПС). Принцип переменной структуры был предложен и исследован в работах С. В. Емельянова, В. И. Уткина и др. [1, 2].

Обычно управление с переменной структурой в СПС строится в следующем виде [1]:

$$U = \begin{cases} u^+, & s > 0 \\ u^-, & s < 0, \end{cases} \quad (1)$$
$$s = f(x_1, \dots, x_n),$$

где $s = 0$ — уравнение линии (поверхности) переключения, построенной в пространстве состояний

системы с фазовыми координатами x_1, \dots, x_n . Поверхность переключения задается на этапе проектирования системы. Условие существования скользящего режима задается в виде [1]:

$$s \cdot \dot{s} < 0. \quad (2)$$

Управление с переменной структурой вида (1) является разрывным управлением с обратной связью. Для его реализации, как правило, применяются релейные переключающие элементы. Отметим, что традиционные системы управления с переменной структурой обладают определенными недостатками. В частности, управляющий сигнал в системе обычно представляет собой по форме двуполярный меандр с высокой (теоретически, с бесконечной) частотой переключения полярности. Двуполярность сигнала приводит к повышенному энергопотреблению. Еще один очевидный недостаток традиционных СПС — невысокое быстродействие вследствие настройки параметров поверхности переключения на случай “наихудших” условий функционирования системы. Для преодоления этих недостатков в работе предлагаются новые алгоритмы и системы управления с переменной структурой: с парными и нелинейно деформируемыми поверхностями переключения.

1. УПРАВЛЕНИЕ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ И ПАРНЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ

Как было отмечено, традиционные СПС обладают повышенным энергопотреблением в скользящем режиме. Полезная составляющая управления (эквивалентное управление) при двуполярном сигнале мала.



Далее предлагается возможный способ синтеза систем управления с переменной структурой, позволяющий снизить затраты на управление с сохранением качества переходных процессов [3, 4]. Сущность подхода заключается в следующем. В пространстве состояний системы строятся две поверхности переключения, образующие узкий сектор. Это можно интерпретировать как “расщепление” поверхности переключения $s = 0$ в уравнении (1) с сохранением условия (2) на одной из полученных поверхностей. Внутри сектора управление полагается равным нулю, а вне сектора определяется аналогично традиционным СПС:

$$U = \begin{cases} u^+(x), & x \in S^+ \\ 0, & x \in S^0 \\ u^-(x), & x \in S^- \end{cases} \quad (3)$$

где S^+ , S^0 , S^- — области фазового пространства, на границах которых происходит скачкообразное изменение управляющего воздействия. При $x \in S^0$ в системе имеет место свободное движение, приводящее изображающую точку системы на одну из поверхностей переключения, причем на этой поверхности сохраняется условие (2) существования скользящего режима. Подчеркнем, что в отличие от традиционной СПС управляющий сигнал в скользящем режиме становится однополярным, и, как следует из физических соображений, значение полезной составляющей управления (эквивалентного управления) значительно возрастает.

В качестве простого примера реализации предлагаемого подхода к построению СПС с парными поверхностями переключения рассмотрим задачу управления исполнительным приводом манипуляционного робота. Исполнительный электропривод степени подвижности манипулятора приближенно можно описать системой дифференциальных уравнений второго порядка:

$$\begin{cases} \dot{\alpha} = \omega \\ \dot{\omega} = \left[\left(U - M(t) \frac{R_y}{K_y K_M} \right) K - \omega \right] \frac{1}{T}, \end{cases} \quad (4)$$

где α и ω — угловая координата и скорость ее изменения, M и T — внешний момент нагрузки и эквивалентная постоянная времени, U — управление. Предполагается, что $|M(t)| \leq K_y K_M / R_y - \Delta$, $\Delta > 0$. Для определенности будем считать, что входное воздействие $g(t) = \text{const}$. Параметры в системе уравнений (4) имеют следующие значения: сопротивление якорной цепи $R_y = 0,8$ Ом, коэффициент усиления $K_y = 280$, коэффициент пропорциональности $K = 50$, моментный коэффициент $K_M = 0,02$,

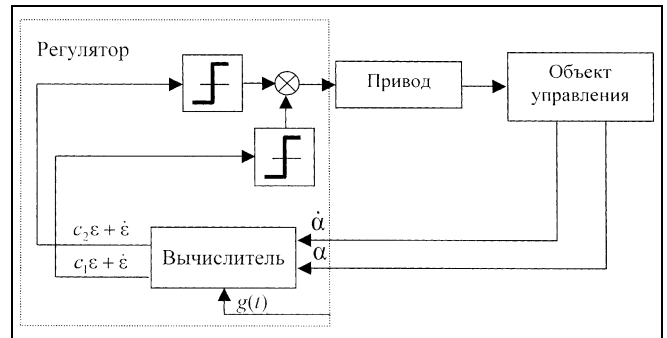


Рис. 1. Структурная схема системы управления приводом с парными линиями переключения

эквивалентная постоянная времени $T = T(t)$ изменяется в диапазоне 0,1...2. Конкретизируя условие (3), построим управление в следующей форме:

$$U = \begin{cases} 0, & s_1 s_2 < 0, \\ \text{sign}(s_2), & s_1 s_2 > 0, \end{cases} \quad (5)$$

$$\begin{cases} s_1 = c_1 \epsilon + \dot{\epsilon}, \\ s_2 = (c_1 + \delta c) \epsilon + \dot{\epsilon}, \end{cases}$$

где δc — малая величина, ϵ — рассогласование системы. Закон управления (5) реализуется следующим образом:

$$U = k_u (\text{sign} s_1 + \text{sign} s_2), \quad (6)$$

где k_u — постоянный коэффициент, значение которого принимается равным 0,5. Структурная схема системы управления изображена на рис. 1. Объектом управления в данном случае является одно из звеньев манипулятора. Регулятор имеет достаточно простую структуру: в качестве входных переменных используются выходные координаты: угол α и скорость его изменения $\dot{\alpha}$, а также входное воздействие $g = g(t)$. В вычислительном блоке регулятора рассчитываются значения s_1 и s_2 , на основании которых вычисляется управление U . На рис. 2 приведены фазовые траектории синтезированной СПС с парными линиями переключения. Видно, что в начальный момент времени $U = u^+$ и движение происходит в секторе S^+ . После попадания на линию $S_1 = 0$ изображающая точка прошивает эту линию, после чего имеет место переключение управляющего сигнала до уровня $U = 0$, приводящее систему в режим свободного движения в области S^0 . После попадания точки на линию $S_2 = 0$ система переходит в скользящий режим.

Для проверки эффективности предложенного закона управления (5), (6) были проведены численные эксперименты на основе более полной (в срав-

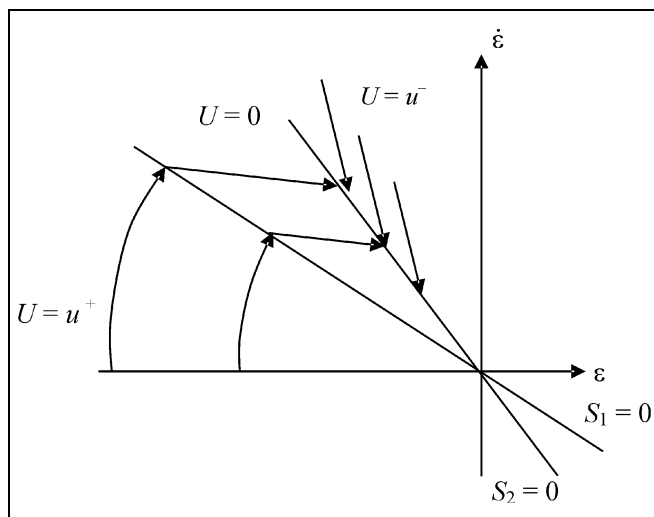


Рис. 2. Фазовые траектории СПС с парными линиями переключения

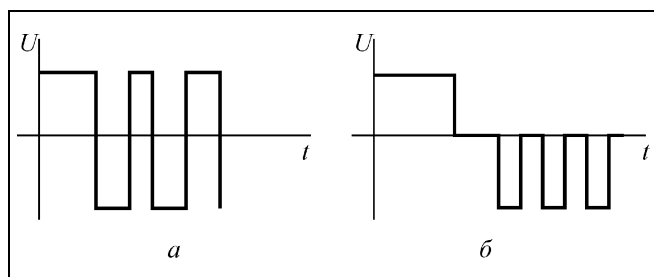


Рис. 3. Управляющий сигнал в СПС:
а — традиционная СПС; б — СПС с парными линиями переключения

нении с моделью (4)) модели трехзвенного манипулятора UMS-2 [5], учитывающей взаимные влияния степеней подвижности, возможность изменения массы груза и др. Временные диаграммы управляющего сигнала для предложенной и традиционной СПС приведены на рис. 3. Как подтверждают результаты моделирования, вид переходных процессов предложенной СПС сохраняется таким же, как и в традиционных, однако затраты на управление сокращаются (на фазе скольжения — в 2...5 раз) вследствие замены двуполярного управляющего сигнала на однополярный.

2. СИНТЕЗ АДАПТИВНЫХ СПС С ДЕФОРМИРУЕМЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ

Невысокое быстродействие традиционных СПС связано с неполным использованием ресурсов управления. Один из возможных способов улучше-

ния быстродействия состоит в применении адаптивного подхода. В работе [6] на основе развития результатов, изложенных в монографии [1], предложен механизм адаптации, который геометрически можно интерпретировать как поворот линии скольжения в область более высоких скоростей с сохранением условия скольжения (2). В качестве “индикатора” скользящего режима использовался так называемый параметр скольжения μ [1, 2]. Ниже предлагается подход, обобщающий упомянутый механизм адаптации [6] и использующий нелинейные настраиваемые поверхности переключения (скольжения). Его идея заключается в следующем. В начальный момент времени поверхность переключения в пространстве состояний располагается таким образом, чтобы для нее при любых начальных условиях и возможном диапазоне изменений неопределенных параметров выполнялось условие скольжения (2). Уравнение поверхности выбирается в виде $s = f(x, p)$, где x — вектор выходных координат системы, p — вектор параметров поверхности переключения. Функция $f(x, p)$ в общем случае может быть нелинейной. После попадания на поверхность переключения начинается процесс адаптивной настройки параметров p поверхности, который геометрически можно интерпретировать как ее деформацию. Алгоритм настройки следует выбрать таким образом, чтобы указанная поверхность в результате деформации смещалась в область более высоких скоростей. Как и в алгоритме, предложенном в работе [6], степень деформации определяется близостью параметра скольжения к заданному эталонному значению μ_d . Эта идея может быть реализована различными способами. В качестве примера рассмотрим СПС второго порядка, в которой уравнение поверхности выбрано в виде

$$s = \dot{\varepsilon} + k_{\varepsilon} \operatorname{sign} \varepsilon \cdot \sqrt{|\varepsilon|} + c\varepsilon, \quad (7)$$

где k_{ε} и c — параметры, настройка которых ведет к нестационарности поверхности переключения. В частном случае, если положить $k_{\varepsilon} = 0$, уравнение (7) задает классическую прямую скольжения с параметром c , значение которого определяет наклон линии переключения [1, 2, 6]. В случае, когда $c = 0$, уравнение (7) описывает линию, аналогичную кривой переключения в оптимальной по быстродействию системе. В общем случае возможна одновременная настройка всех параметров поверхности.

В процессе исследования выбирались следующие законы адаптации [4–6]:

- интегральный

$$\begin{cases} \dot{k}_{\varepsilon} = k_{\mu}(\mu_d - \mu), \\ \dot{c} = k_c(\mu_d - \mu); \end{cases}$$

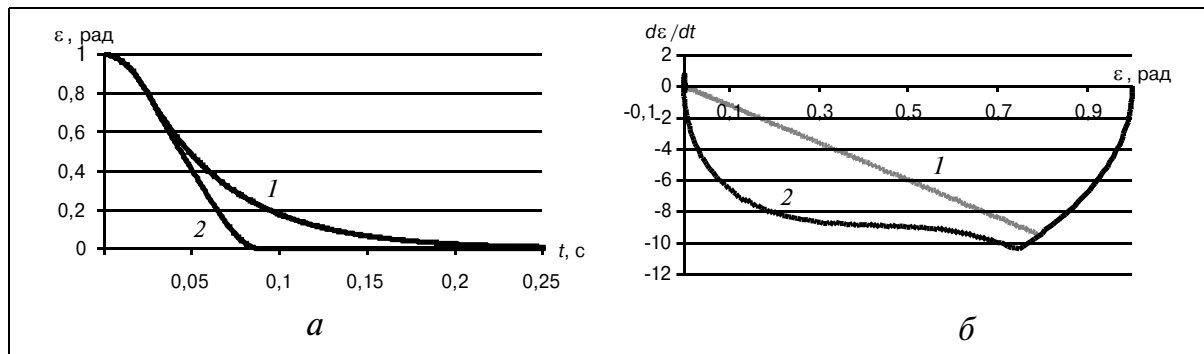


Рис. 4. Переходные процессы (а) и фазовые траектории (б) системы управления степенью подвижности манипулятора: 1 — без адаптации; 2 — с адаптацией

- интегрально-знаковый

$$\begin{cases} \dot{k}_\varepsilon = k_\mu \text{sign}(\mu_d - \mu) \\ \dot{c} = k_c \text{sign}(\mu_d - \mu); \end{cases}$$

- с огрублением по параметру скольжения

$$\dot{k}_\varepsilon = \begin{cases} k_\mu(\mu_d - \mu), & |\mu_d - \mu| \geq \varepsilon_\mu \\ 0, & |\mu_d - \mu| < \varepsilon_\mu; \end{cases}$$

$$\dot{c} = \begin{cases} k_c(\mu_d - \mu), & |\mu_d - \mu| \geq \varepsilon_\mu \\ 0, & |\mu_d - \mu| < \varepsilon_\mu; \end{cases}$$

- с огрублением по ошибке

$$\dot{k}_\varepsilon = \begin{cases} k_\mu(\mu_d - \mu), & |\varepsilon| \geq \Delta \\ 0, & |\varepsilon| < \Delta; \end{cases} \quad \dot{c} = \begin{cases} k_c(\mu_d - \mu), & |\varepsilon| \geq \Delta \\ 0, & |\varepsilon| < \Delta. \end{cases}$$

где k_μ и k_c — коэффициенты пропорциональности, μ и μ_d — текущее и эталонное значения параметра скольжения, ε_μ — минимальное рассогласование между эталонным и текущим значениями параметра скольжения, Δ — значение рассогласования системы, при котором следует прекратить адаптивную настройку.

На рис. 4 приведены некоторые результаты численных экспериментов (временные диаграммы переходных процессов и фазовые траектории) в адаптивных СПС и традиционных СПС без адаптации. Использование адаптивной деформации позволяет увеличить быстродействие СПС примерно в 2,5 раза (для приведенных выше значений параметров системы).

Идея нелинейной деформации легко объединяется с предложенным принципом парности поверхностей переключения, что позволяет выделить еще один класс адаптивных СПС: системы с парными деформируемыми поверхностями переключения [7]. Численные эксперименты подтверждают преимущества совместного использования парных и деформируемых поверхностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в работе предложены новые классы СПС: с парными поверхностями переключения, деформируемыми поверхностями, а также системы, в которых применяются оба эти принципа. На примере простых адаптивных СПС предложенных классов показана перспективность развиваемого подхода. Синтезированные алгоритмы управления позволяют значительно улучшить характеристики системы, в частности, снизить энергопотребление и увеличить быстродействие системы в условиях неопределенности параметров управляемого объекта. Дальнейшие исследования ведутся в направлении обобщения предложенных подходов на системы более высокого порядка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теория систем с переменной структурой / Под ред. С. В. Емельянова. — М.: Наука, 1970. — 592 с.
2. Уткин В. И. Скользящие режимы в задачах оптимизации и управления. — М.: Наука, 1981. — 368 с.
3. Дыда А. А., Маркин В. Е. Адаптивная система управления с переменной структурой. Патент РФ № 2210170 // БИ. — 2003. — № 22.
4. Дыда А. А., Маркин В. Е. Адаптивная система управления с переменной структурой. Патент РФ № 2210799 // БИ. — 2003. — № 23.
5. Вукобратович М., Стокич Д. Управление манипуляционными роботами. — М.: Наука, 1985. — 384 с.
6. Dyda A. A. Design of Adaptive VSS algorithms for Robot Manipulator Controls // Proc. Of First Asia Control Conference. Tokyo, July 27–30, 1994. — P. 1077–1080.
7. Маркин В. Е., Дыда А. А. Адаптивное управление с переменной структурой с парными и нелинейными деформируемыми поверхностями переключения // Информатика и системы управления. — 2003. — № 1 (5). — С. 100–105.

☎ (4232) 51-52-19

E-mail: adyda@mail.ru, markinve@iacp.dvo.ru



СИСТЕМА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ИНФЕКЦИОННОЙ ЗАБОЛЕВАЕМОСТИ НА ОСНОВЕ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

А.С. Рыков⁽¹⁾, В.О. Хорошилов⁽²⁾, К.С. Щипин⁽¹⁾

⁽¹⁾Московский государственный институт стали и сплавов (технологический университет);

⁽²⁾ЗАО "Научно-производственная фирма "ИнфоТех"

Предложена диалоговая система прогнозирования, предназначенная для анализа временных рядов, описывающих инфекционную заболеваемость. Дана постановка задачи прогнозирования, которая сводится к выбору рационального прогноза из множества конкурирующих прогнозов, построенных с помощью различных и (или) по-разному настроенных прогнозных моделей. Сконструировано многокритериальное описание качества прогнозов для временных рядов, которое трансформируется во множество формальных постановок задач прогнозирования как задач оптимизации. Возможности системы продемонстрированы при прогнозировании инфекционной заболеваемости.

ВВЕДЕНИЕ

В Российской Федерации эпидемиологический надзор за инфекционными заболеваниями ведется на основании данных Федерального и отраслевого государственного статистического наблюдения. Для автоматизации процедур сбора, хранения и обработки информации по мониторингу за инфекционными заболеваниями разработана информационная система "Эпиднадзор". Основу системы составляют интегрированная база данных по эпидемиологическому надзору и аналитический блок для анализа информации и принятия управленческих решений [1].

В деятельности госсанэпидслужбы возникает множество задач, связанных с обработкой и анализом поступающих данных. Это задачи регламентированной обработки данных, систематического наблюдения за эпидемическим процессом во времени, оперативные ситуационные задачи, связанные с принятием управленческих решений, анализа причинно-следственных связей в складывающейся обстановке, прогнозирования развития эпидемиологической ситуации.

Для решения одной из них — задачи прогнозирования — в состав системы "Эпиднадзор" входит

подсистема прогнозирования, предназначенная для поддержки принятия управленческих решений. В ее основу положен многокритериальный подход к решению задачи прогнозирования на основе анализа временных рядов [2].

Особенности предлагаемого подхода состоят в следующем:

- реализованы многокритериальное описание качества прогнозов, описания понятий "хороший" или "оптимальный" прогноз;
- для разных ситуаций содержательно описаны требования к качеству прогнозов, которые трансформированы в множество формальных постановок задач прогнозирования;
- сформировано множество прогнозных моделей, на основе ретроспективного анализа выбираются вид и параметры моделей;
- применяются прогнозные модели аддитивной структуры, позволяющие проводить покомпонентный анализ составляющих временного ряда;
- система прогнозирования реализуется в диалоговом варианте.

В настоящей статье формулируется постановка задачи прогнозирования, которая сводится к выбору рационального прогноза из множества конкурирующих прогнозов, построенных с помощью



различных и (или) по-разному настроенных прогнозных моделей. Конструируется многокритериальное описание качества прогнозов для временных рядов. Данное описание трансформируется во множество формальных постановок задач прогнозирования как задач оптимизации. Возможности системы демонстрируются при прогнозировании инфекционной заболеваемости.

1. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ. ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Пусть заданы значения временного ряда $X = \{x(1), x(2), \dots, x(N)\}$, где $x(t)$ — значение анализируемого показателя, зарегистрированного в t -м такте времени ($t = 1, 2, \dots, N$). Требуется построить “хорошие” оценки будущих значений ряда $\hat{X} = \{\hat{x}(N+1), \hat{x}(N+2), \dots, \hat{x}(N+\tau)\}$, где $1 \leq \tau < N$ — горизонт прогнозирования.

Из исходного временного ряда выделим обучающую выборку $X_{об} = \{x(1), x(2), \dots, x(N-\tau)\}$, на основании наблюдений которой построим оценки значений временного ряда и вспомогательные прогнозные значения на тактах $\hat{X}_{всп} = \{\hat{x}(1), \hat{x}(2), \dots, \hat{x}(N)\}$. Затем, на основании k произвольных точек исходного временного ряда, составим экзаменационную выборку $X_{экз} = \{x(t_1), x(t_2), \dots, x(t_j), \dots, x(t_k)\}$, где $1 \leq t_j \leq N$.

Качество прогноза оценим в процессе сопоставления полученных оценок $\hat{X}_{экз} = \{\hat{x}(t_1), \hat{x}(t_2), \dots, \hat{x}(t_j), \dots, \hat{x}(t_k)\}$ со значениями экзаменационной выборки $X_{экз}$. При этом воспользуемся различными критериями оценки качества прогнозирования. Окончательный прогноз \hat{X} построим на основании всех имеющихся наблюдений временного ряда X с помощью того же метода прогнозирования, что и при построении вспомогательного прогноза.

Для учета требований к качеству прогнозов в различных ситуациях введем критерии оценки качества прогнозов вида $V = V(X_{экз}, \hat{X}_{экз})$.

Качество точечных прогнозов оценим критерием:

$$1. V_0 = V_0(X_{экз}, \hat{X}_{экз}) = |\hat{x}(m) - x(m)|, 1 \leq m < N.$$

Качество траекторных прогнозов оценим одним из критериев:

$$2. V_1 = V_1(X_{экз}, \hat{X}_{экз}) = \sum_{j=1}^k \alpha_{t_j} |\hat{x}(t_j) - x(t_j)|;$$

$$3. V_2 = V_2(X_{экз}, \hat{X}_{экз}) = \frac{1}{k-1} \sqrt{\sum_{j=1}^k \alpha_{t_j} (\hat{x}(t_j) - x(t_j))^2};$$

$$4. V_3 = V_3(X_{экз}, \hat{X}_{экз}) = \max_{t \in \{t_1, \dots, t_k\}} \alpha_{t_j} |\hat{x}(t_j) - x(t_j)|;$$

$$5. V_4 = V_4(X_{экз}, \hat{X}_{экз}) = \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \alpha_{t_j} \frac{|\hat{x}(t_j) - x(t_j)|}{x(t_j)},$$

где α_{t_j} — весовые коэффициенты, отражающие степень важности совпадения прогнозного и реального значений на такте t_j , задаваемые экспертным путем.

Для оценки качества прогноза максимума применим два критерия. Первый определяет наилучшее совпадение значения максимума прогноза:

$$6. V_5 = V_5(X_{экз}, \hat{X}_{экз}) = |\max\{x(t_1), \dots, x(t_k)\} - \max\{\hat{x}(t_1), \dots, \hat{x}(t_k)\}|,$$

второй — совпадение значения такта m^* с максимальным прогнозным значением:

$$7. V_6 = V_6(X_{экз}, \hat{X}_{экз}) = |\arg\max\{x(t_1), \dots, x(t_k)\} - \arg\max\{\hat{x}(t_1), \dots, \hat{x}(t_k)\}|.$$

На основании введенных критериев оценки качества прогноза сформулируем оптимизационные задачи выбора лучшего прогноза, где целевой функцией является функция качества прогноза.

Пусть было построено L различных прогнозов $\hat{X}_1, \hat{X}_2, \dots, \hat{X}_i, \dots, \hat{X}_L, i = 1, \dots, L$, с помощью различных (или по-разному настроенных) прогнозных моделей M_p . Требуется выбрать “лучший” прогноз.

Критерии оценки качества, введенные ранее, запишем в виде однокритериальных постановок задач прогнозирования:

$$1. \hat{X}^* = \arg \min_{i \in \{1, L\}} V_0(X_{экз}, \hat{X}_i) =$$

$$= \arg \min_{i \in \{1, L\}} (|\hat{x}_i(m) - x(m)|);$$

$$2. \hat{X}^* = \arg \min_{i \in \{1, L\}} V_1(X_{экз}, \hat{X}_i) =$$

$$= \arg \min_{i \in \{1, L\}} \sum_{j=1}^k \alpha_{t_j} |\hat{x}_i(t_j) - x(t_j)|;$$

$$3. \hat{X}^* = \arg \min_{i \in \{1, L\}} V_2(X_{экз}, \hat{X}_i) =$$

$$= \arg \min_{i \in \{1, L\}} \frac{1}{k-1} \sqrt{\sum_{j=1}^k \alpha_{t_j} (\hat{x}_i(t_j) - x(t_j))^2};$$

$$4. \hat{X}^* = \arg \min_{i \in \{1, L\}} V_3(X_{\text{экз}}, \hat{X}_i) = \\ = \arg \min_{i \in \{1, L\}} \max_{j \in \{1, k\}} \alpha_{t_j} |\hat{x}_i(t_j) - x(t_j)|;$$

$$5. \hat{X}^* = \arg \min_{i \in \{1, L\}} V_4(X_{\text{экз}}, \hat{X}_i) = \\ = \arg \min_{i \in \{1, L\}} \frac{1}{k} \sum_{j=1}^k \alpha_{t_j} \frac{|\hat{x}_i(t_j) - x(t_j)|}{x(t_j)};$$

$$6. \hat{X}^* = \arg \min_{i \in \{1, L\}} V_5(X_{\text{экз}}, \hat{X}_i) = \arg \min_{i \in \{1, L\}} (|\max\{x(t_1), \\ \dots, x(t_k)\} - \max\{\hat{x}_i(t_1), \dots, \hat{x}_i(t_k)\}|);$$

$$7. \hat{X}^* = \arg \min_{i \in \{1, L\}} V_6(X_{\text{экз}}, \hat{X}_i) = \arg \min_{i \in \{1, L\}} (|\arg \max\{x(t_1), \\ \dots, x(t_k)\} - \arg \max\{\hat{x}_i(t_1), \dots, \hat{x}_i(t_k)\}|).$$

Более гибко подстроиться под требования эксперта к качеству прогноза позволяют следующие формулировки многокритериальных задач прогнозирования.

8. Комбинируются критерии V_2 , V_5 и V_6 :

$$\hat{X}^* = \arg \min_{i \in \{1, L\}} (\lambda_2 V_2 + \lambda_5 V_5 + \lambda_6 V_6) = \\ = \arg \min_{i \in \{1, L\}} \left(\lambda_2 \frac{1}{k-1} \sqrt{\sum_{j=1}^k \alpha_{t_j} (\hat{x}_i(t_j) - x(t_j))^2} + \right. \\ \left. + \lambda_5 |\max\{x(t_1), \dots, x(t_k)\} - \max\{\hat{x}_i(t_1), \dots, \hat{x}_i(t_k)\}| + \right. \\ \left. + \lambda_6 |\arg \max\{x(t_1), \dots, x(t_k)\} - \arg \max\{\hat{x}_i(t_1), \dots, \hat{x}_i(t_k)\}| \right).$$

9. Комбинируются критерии V_1 , V_2 и V_3 :

$$\hat{X}^* = \arg \min_{i \in \{1, L\}} (\lambda_1 V_1 + \lambda_2 V_2 + \lambda_3 V_3) = \\ = \arg \min_{i \in \{1, L\}} \left(\lambda_1 \sum_{j=1}^k \alpha_{t_j} |\hat{x}_i(t_j) - x(t_j)| + \right. \\ \left. + \lambda_2 \frac{1}{k-1} \sqrt{\sum_{j=1}^k \alpha_{t_j} (\hat{x}_i(t_j) - x(t_j))^2} + \right. \\ \left. + \lambda_3 \max_{j \in \{1, k\}} \alpha_{t_j} |\hat{x}_i(t_1) - x(t_j)| \right).$$

Весовые коэффициенты λ_1 , λ_2 , λ_3 , λ_5 и λ_6 задаются экспертным путем и позволяют определять значимость частных критериев в обобщенных постановках задач прогнозирования.

Отметим, что, применяя различные принципы оптимальности и методику их применения, изложенные в работе [3], можно расширить множество формальных постановок задач. Однако для рас-

сматриваемых ниже задач прогнозирования приведенного множества постановок вполне достаточно, так как оно покрывает основные требования экспертов к качеству прогнозов.

2. ДИАЛОГОВЫЙ АЛГОРИТМ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Задача прогнозирования решается как оптимизационная на множестве конкурирующих прогнозов с применением диалогового алгоритма решения задачи прогнозирования. Этот алгоритм описывает последовательность действий, которой следует придерживаться эксперту при построении прогнозов с помощью системы. В нем описываются как действия эксперта, так и связанные с ними операции, выполняемые системой прогнозирования. Подробное описание шагов диалогового алгоритма построения прогноза приведено в табл. 1.

В случае, если ни один прогноз эксперта не устраивает или он считает возможным построить более качественные прогнозы, ему следует вернуться к шагу № 3 алгоритма и, двигаясь далее, “подстроить” параметры прогнозирования, которые, по его мнению, позволят достичь лучших результатов.

Итогом выполнения диалогового алгоритма является построенный прогноз, который выбран из множества конкурирующих прогнозов, предъявленных эксперту. Модели временных рядов не учитывают причинно-следственные связи, порождающие временные ряды, поэтому принципиально важным при выборе лучшего прогноза остается мнение эксперта, который может использовать свои представления о качестве прогнозов и оценить, насколько они адекватны развивающейся ситуации.

При построении прогнозов применяются различные прогнозные модели, в том числе имеющие аддитивную структуру. Аддитивные прогнозные модели позволяют выполнять покомпонентный анализ составляющих временного ряда: тренда, сезонной, циклической и случайной компонент. Описание реализованных в системе прогнозирования моделей и их параметров приведено в табл. 2.

3. ПРИМЕРЫ ПОСТРОЕНИЯ ПРОГНОЗОВ С ПОМОЩЬЮ СИСТЕМЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Рассмотрим примеры прогнозов, построенных с помощью разработанной системы прогнозирования на основании анализа временных рядов, описывающих заболеваемость вирусным гепатитом А и бактериальной дизентерией в Российской Федерации.

При построении траекторного прогноза заболеваемости гепатитом А на основании диалогового



Таблица 1

Описание диалогового алгоритма решения задачи прогнозирования

Номер шага	Шаг алгоритма	Исполнитель шага	Описание шага алгоритма
1	Выбор временного ряда для прогнозирования	Эксперт	Эксперт выбирает временной ряд, на основании которого необходимо выполнить прогнозирование. Выбранный ряд передается в систему прогнозирования
2	Визуализация временного ряда	Система прогнозирования	Временной ряд отображается в виде графика, на котором по оси абсцисс откладываются временные такты, а по оси ординат — значения временного ряда
3	Визуальный анализ временного ряда	Эксперт	В ходе визуального анализа временного ряда эксперт принимает решение о том, стоит ли учитывать все данные ряда при построении прогноза и, при необходимости, исключает некоторое число последовательных тактов слева. Таким образом игнорируются “старые” данные. В случае, если эксперт хочет сопоставить прогноз с реальными данными, он может исключить из рассмотрения несколько последовательных тактов справа (игнорируются “новые” данные)
4	“Усечение” временного ряда по краям	То же	Эксперт указывает, какое число тактов справа и слева следует исключить из рассмотрения, после чего эти такты игнорируются системой при построении прогноза
5	Выбор горизонта прогнозирования	—	Эксперт принимает решение, на какое число тактов вперед необходимо построить прогноз, учитывая при этом число наблюдаемых значений в исходном временном ряду
6	Настройка набора прогнозных моделей	—	Эксперт определяет, какими прогнозными моделями и с каким диапазоном значений их параметров следует воспользоваться при построении прогноза
7	Выбор критерия оценки качества прогноза	—	Эксперт выбирает формальную постановку задачи прогнозирования из предлагаемых системой. На основании выбранного критерия система прогнозирования будет определять, какие прогнозы “лучше”, а какие “хуже”
8	Задание экзаменационной выборки	То же	В зависимости от критерия оценки качества прогноза и выбранных прогнозных моделей эксперт выбирает точки исходного временного ряда, которые необходимо включить в экзаменационную выборку. По точкам этой выборки будут проверяться построенные прогнозы. По умолчанию экзаменационными считаются последние такты временного ряда
9	Построение прогнозов	Система прогнозирования	Система прогнозирования выполняет построение набора конкурирующих прогнозов с помощью прогнозных моделей, выбранных и настроенных экспертом
10	Ранжирование прогнозов	То же	Система прогнозирования ранжирует построенные прогнозы от “лучшего” к “худшему”, после чего предъявляет их упорядоченный список эксперту с указанием значений критерия оценки качества для каждого из них
11	Выбор в диалоговом режиме лучшего прогноза (лучших прогнозов)	Эксперт	Эксперт, просматривая последовательно прогнозы в виде совмещенных графиков исходного временного ряда, вспомогательного и окончательного прогнозов, выбирает наиболее рациональный
12	Экспорт или печать прогноза	То же	Результаты прогнозирования могут быть экспортированы в файл для последующего использования или выведены на печать

Таблица 2

Модели, использованные для построения прогнозов

Номер	Обозначение	Описание
1	$LR(a, k)$	Модель описывает тренд в виде алгебраического полинома порядка a . Параметр k принимает значение 1 в случае, если в модели учитывается автокорреляция случайных остатков, 0 — в противном случае
2	$AR(p)$	Модель авторегрессии порядка p
3	$F(T)$	Модель, аппроксимирующая исходные данные рядами Фурье с периодом T
4	$\text{Exp}(\cdot)$	Модель описывает экспоненциальный тренд
5	$LR(a, k) + F(T) + AR(p)$	Аддитивная прогнозная модель. Тренд описывается полиномом порядка a с учетом или без учета автокорреляции остатков (параметр k), сезонные колебания — рядами Фурье, случайные факторы — моделью авторегрессии порядка p . Параметр T — период ряда Фурье
6	$\text{Exp}(\cdot) + F(T) + AR(p)$	Аддитивная прогнозная модель. Тренд описывается экспоненциальной функцией, сезонные колебания — рядами Фурье, случайные факторы — моделью авторегрессии порядка p . Параметр T — период ряда Фурье

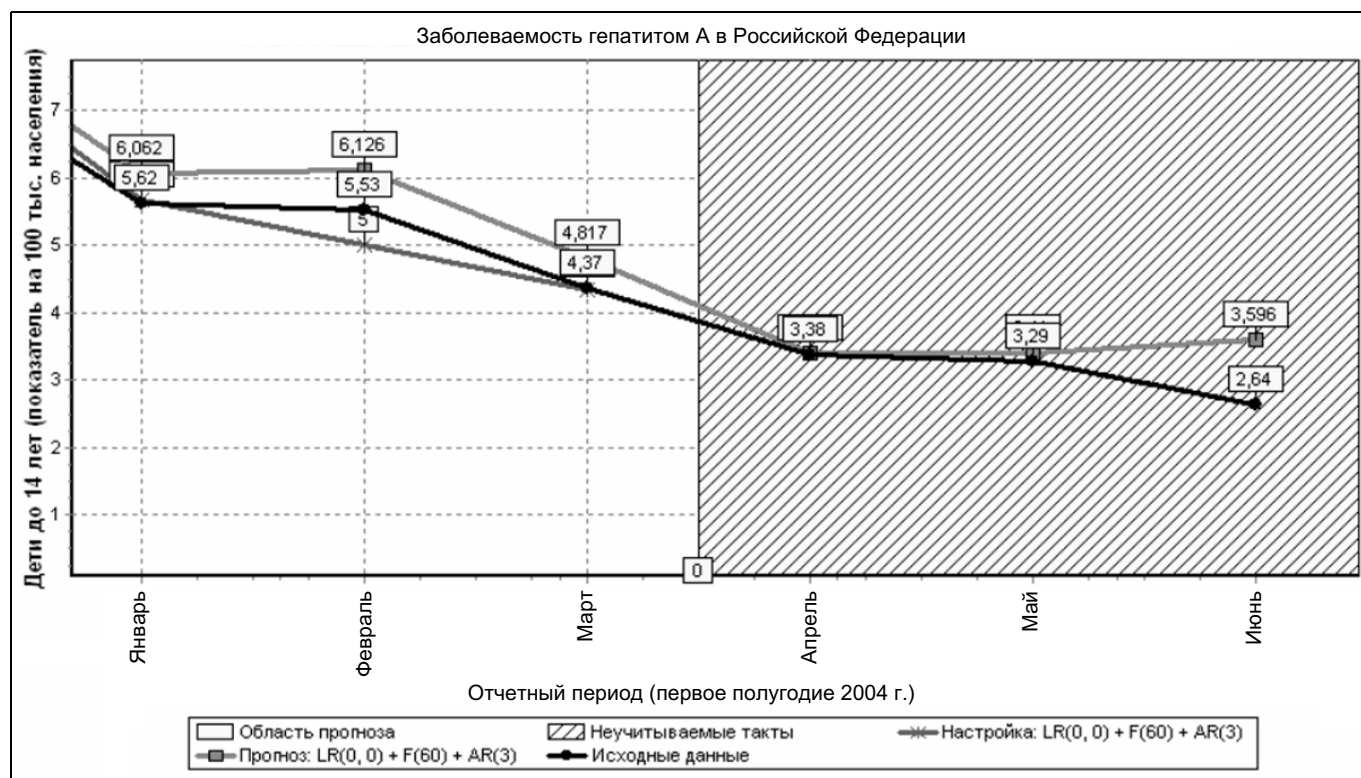


Рис. 1. Прогноз, построенный с помощью модели № 5

алгоритма, описанного ранее, продемонстрируем процесс настройки и выбора параметров прогнозных моделей. Построенный прогноз приведен на рис. 1.

Результаты сравнения оптимальных прогнозов, полученных с помощью различных прогнозных моделей представлены в табл. 3. Здесь и далее по-

лужирным шрифтом выделены наилучшие значения для каждого критерия.

Прогноз, построенный с помощью прогнозной модели № 5, выбран экспертом как наиболее рациональный. Это решение подкрепляется:

- наименьшим значением критерия оценки качества прогнозирования;

Таблица 3

Результаты прогнозирования

Критерий оценки качества прогноза	Прогнозная модель, ее параметры					
	Модель					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
	$a = 2$ $k = 0$	$p = 1$	$T = 60$	—	$a = k = 0$ $T = 60$ $p = 3$	$T = 60$ $p = 1$
Ошибка прогноза, %, на такте:						
$t = N + 1$	5,06	15,06	521,36	129,29	0,83	59,17
$t = N + 2$	4,95	5,20	523,95	136,78	3,65	57,96
$t = N + 3$	1,93	16,70	677,01	196,36	36,21	116,02
Средняя ошибка прогноза, %:						
подсчитанная на основе реальных данных	3,98	12,32	574,11	154,14	13,56	77,72
полученная при настройке прогноза	22,30	19,30	335,00	62,00	3,74	43,55
Значение критерия оценки качества прогноза	1,48	1,24	20,93	3,85	0,38	2,74

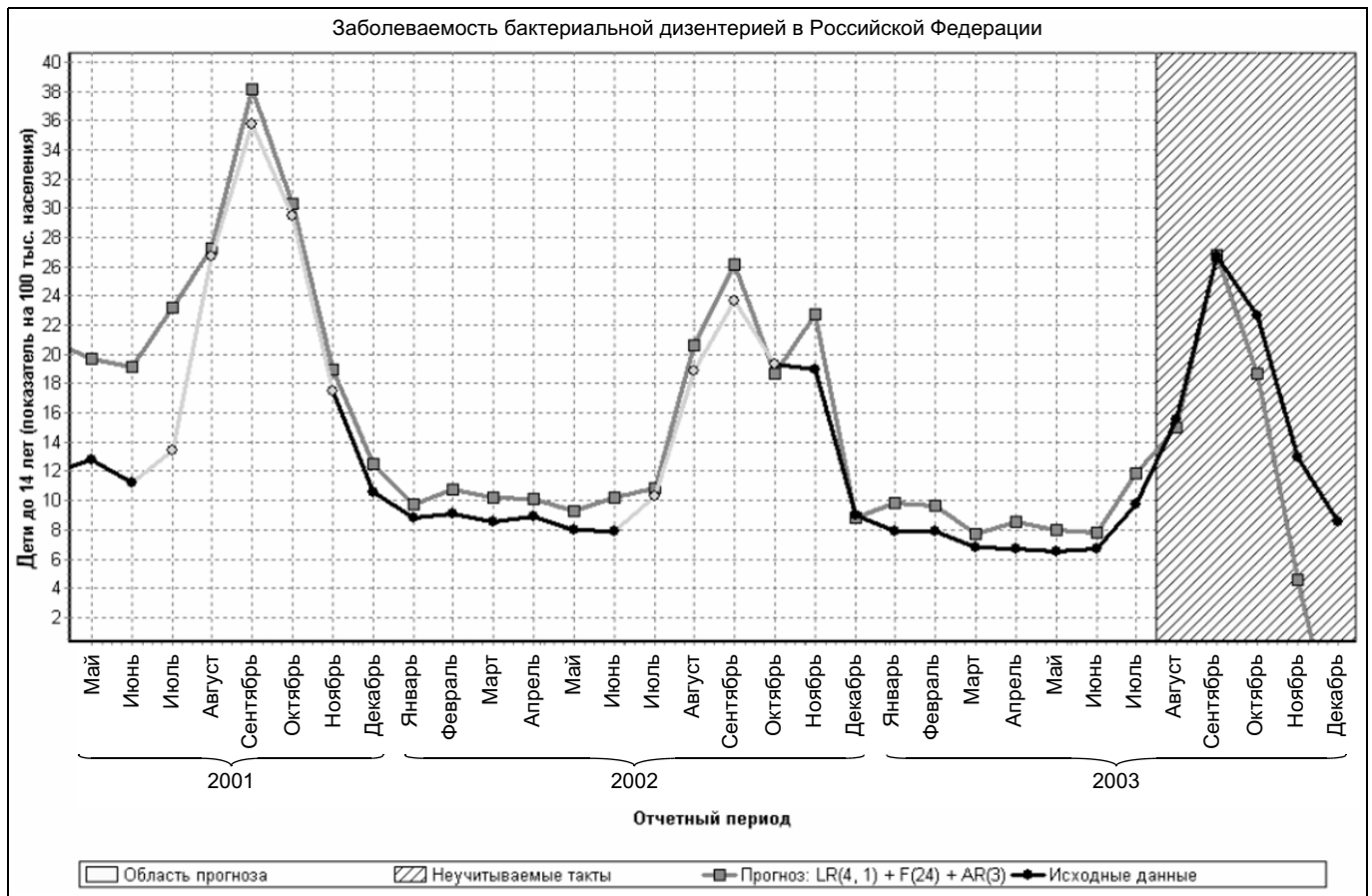


Рис. 2. Прогноз заболеваемости бактериальной дизентерией при постановке задачи № 8

- наименьшей средней ошибкой прогноза, полученной при настройке модели;
- наименьшей относительной ошибкой на первых двух прогнозных тактах.

Влияние выбора формальной постановки задачи прогнозирования на результат прогнозирования продемонстрировано при прогнозировании очередного сезонного всплеска заболеваемости бактериальной дизентерией. Построенный прогноз приведен на рис. 2. Результаты сравнения качества оптимальных прогнозов, полученных при различных формальных постановках задачи прогнозирования, сведены в табл. 4.

Видно, что выбор прогнозных моделей совпадает при постановках задач № 3 и 9, а также при постановках № 2 и 5. Весовые коэффициенты, введенные в постановки задач № 8 и 9 и задаваемые экспертным путем, играют существенную роль: они позволяют эксперту-прогнозисту настраивать постановку задачи на основе его предпочтений. С помощью этих коэффициентов становится возможным “плавный” переход между частными постановками задач прогнозирования, образующих обобщенную постановку задачи.

Оценка истинной точности построенных прогнозов проведена в процессе сопоставления прогнозных значения в точке “будущего” максимума с истинным значением временного ряда, которое составило $x(45) = 26,74$. Возможность такой проверки дало исключение пяти временных тактов справа, выполненное перед построением прогноза. Значения абсолютных и относительных ошибок, соответствующие прогнозам, построенным при разных постановках задачи прогнозирования, приведены в табл. 5.

Видно, что наиболее точным оказался оптимальный прогноз, полученный при постановке задачи № 8 — “прогноз максимума”. Такой результат вполне закономерен, так как в данном случае формальная постановка задачи прогнозирования совпадает с представлениями эксперта о хорошем прогнозе. Также позитивную роль в данном случае сыграло наличие весовых коэффициентов, которые позволили учесть значимость каждого из частных критериев качества, а также настройка экзаменационной выборки: в нее вошли такты в окрестности сезонных всплесков заболеваемости.

Хорошие результаты прогнозирования в обоих случаях обусловлены применением гибкого инст-

Таблица 4

Сравнение качества прогнозов, полученных при различных постановках задачи

Постановка задачи прогнозирования	Прогнозная модель №5			
	Параметры модели			
	$a = 3$ $k = 1$ $T = 24$ $p = 0$	$a = 1$ $k = 1$ $T = 24$ $p = 2$	$a = 3$ $k = 0$ $T = 24$ $p = 3$	$a = 4$ $k = 1$ $T = 24$ $p = 3$
Минимизация среднего квадратического отклонения (№ 3)	6,95	7,80	7,15	9,56
Минимизация суммы модулей отклонений (№ 2)	159,25	155,83	168,56	241,37
Минимизация модуля максимального отклонения (№ 4)	29,94	36,03	29,80	30,51
Минимизация средней ошибки прогноза (№ 5)	19,90	17,85	23,84	43,29
Взвешенный критерий (№ 9), весовые коэффициенты: $\lambda_1 = 0,5$; $\lambda_2 = \lambda_3 = 0,25$	50,77	51,87	53,16	72,75
Прогноз максимума (№ 8), весовые коэффициенты: $\lambda_2 = 0,2$; $\lambda_5 = 0,2$; $\lambda_6 = 0,3$	0,39	0,40	0,76	0,30

Таблица 5

Сопоставление прогнозных значений с имеющимися данными

Постановка задачи прогнозирования	Параметры прогноз модели № 5	Прогнозное значение, \hat{x} (45)	Абсолютная ошибка про- гноза, Δ	Относитель- ная ошибка прогноза, ε , %
Прогноз максимума (№ 8), весовые коэффициенты: $\lambda_2 = 0,2$; $\lambda_5 = 0,5$; $\lambda_6 = 0,3$	$a = 14$, $k = 1$, $T = 24$, $p = 3$	26,77	0,03	0,11
Минимизация суммы модулей отклонений (№ 2)	$a = 1$, $k = 1$, $T = 24$, $p = 2$	27,88	1,14	4,26
Минимизация средней ошибки прогноза (№ 5)				
Взвешенный критерий (№ 9), весовые коэффициенты: $\lambda_1 = 0,5$; $\lambda_2 = \lambda_3 = 0,25$	$a = 3$, $k = 1$, $T = 24$, $p = 0$	31,00	4,26	15,93
Минимизация среднего квадратического отклонения (№ 3)				
Минимизация модуля максимального отклонения (№ 4)	$a = 3$, $k = 0$, $T = 24$, $p = 3$	32,72	5,98	22,36

рументария, позволяющего как комбинировать различные и по-разному настроенные модели, так и выбирать и настраивать постановки задач прогнозирования на основе предпочтений эксперта.

ров на уровне заболеваемости, их модельное описание представляется весьма важной и будет решаться при совершенствовании системы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Работа над совершенствованием системы прогнозирования будет активно продолжаться. При анализе временных рядов, рассмотренных в статье, выделяется тенденция того или иного процесса без изучения причинно-следственных связей, определяющих его поведение и без выявления факторов, на него влияющих. При рассмотрении уровня заболеваемости как временного ряда можно высказать предположение о влиянии на него множества факторов, таких как экологическая обстановка, социальные и экономические условия, обеспеченность медикаментами и медицинским персоналом и т. д. Задача изучения влияния подобных факто-

ЛИТЕРАТУРА

1. Система прогнозирования на основе временных рядов / А. С. Рыков, В. О. Хорошилов, К. С. Шипин, А. А. Рыков // Сб. науч. тр. МИСиС "Экономика, информационные технологии и управление в металлургии". — М., 2003. — С. 77—79.
2. Концепция компьютерной системы эпидемиологического надзора за инфекционными заболеваниями / А. С. Рыков, В. О. Хорошилов, М. П. Шевырева, К. С. Шипин // Сб. докл. междунар. форума "Информатизация процессов охраны здоровья населения — 2001". — М., 2001. — С. 54—57.
3. Рыков А. С. Методы системного анализа: многокритериальная и нечеткая оптимизация, моделирование и экспертные оценки. — М.: Экономика, 1999. — 192 с.

☎ (095) 338-58-97

E-mail: alexrykov@mail333.com



A POST-STRUCTURAL ANALYSIS OF PROGRESS IN ENGINEERING

L. Stapleton⁽¹⁾ and F. Kile⁽²⁾

⁽¹⁾*Waterford Institute of Technology, Waterford, Republic of Ireland*

⁽²⁾*Microtrend, Appleton, WI, USA*

This paper examines developments in engineering and their impact on society from a post-structural perspective, focusing on social impact, especially on labor, and on the environmental impact of technology, particularly in terms of global increases in consumption. Displacement of labor is discussed in terms of growing underemployment as machine enhanced productivity evolves from production of tangible goods to skilled and professional work. Ethical questions need to be re-framed to be relevant to reflect the evolution of work structures. Current developments create a positive feedback loop with adverse consequences for socio-political and environmental systems. Some analysts believe our current social system has already become highly unstable.

ПОСТСТРУКТУРНЫЙ АНАЛИЗ ПРОГРЕССА В ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ СФЕРЕ

Л. Степлтон, Ф. Кайл

Рассмотрена ситуация, сложившаяся в инженерно-технической сфере и ее воздействие на общество в постструктурной перспективе. Особое внимание уделено социальному воздействию техники, в особенности на рабочую силу, а также на окружающую среду, в частности, в терминах глобального роста потребления. Изменение характера труда рассмотрено в плане роста неполной занятости, связанного с увеличением производительности машинного производства и распространением его от выпуска материальных благ на выполнение квалифицированной и профессиональной работы. Отмечено, что этические аспекты должны быть пересмотрены так, чтобы они могли правильно отражать эволюцию трудовых структур. Сегодняшние разработки создают положительную обратную связь с неблагоприятными последствиями для социально-политических и экологических систем. Некоторые аналитики полагают, что наша сегодняшняя социальная система уже стала крайне неустойчивой.

INTRODUCTION

Advances in technology continue to accelerate. However, there is increasing concern at various levels of society, up to the United Nations, that developments in AMAT (Automation and Machine-Assisted Thinking) and ICT (Information and Communications Technology) are creating new sets of problems for our global society. This paper argues that these new problems lie at the heart of ethical analysis of AMAT and

ICT and raise serious questions regarding both current and planned engineering research and development. Specifically, this paper addresses two major issues:

1. Downward pressure on labor forces, in both developed and developing areas, resulting from AMAT. This pressure is felt in an increasing need for advanced training in applications of technology. Labor markets change as skilled persons are replaced by less skilled persons using AMAT to create a man-machine pairing which elevates the functional skill level of the worker. Pressure on labor forces displaces people at skill level

“ n ” with machine-assisted people at skill level “ $n - 1$,” and so on through a spectrum of labor expertise”. The final consequence of this downward cascading of pressure on labor results in underemployment among many in both developed and developing economies and total loss of employment opportunities among the least qualified in developing areas, except subsistence farmers, who are not in the labor market.

2. “Markets” are evolving from exchanges of products and goods to markets based on the sale and procurement of “signs” (“simulacra” in the idiom suggested by J. Baudrillard). This evolution of “markets” does not exclude exchange of tangible products and goods; rather, this transformation of markets stems from how tangibles and intangibles are blended in the minds of both sellers and buyers. Increasingly, “market exchanges” are moving from products apart from attributed images in the direction of exchanging “signs” through which both tangibles and intangibles are identified. Thus, one “purchases” status through possession of an expensive, carefully marketed high-end automobile, though this automobile may in no way be superior to a less highly “imaged” machine.

Although, superficially, these two issues may seem unrelated, recent analyses show that this is not the case. However, to date, the literature in engineering ethics, systems engineering development and related work, have not juxtaposed these two issues in one paper. Neither has the post-structural analysis presented here received very much attention, with one or two notable exceptions¹.

1. PASSIVITY, SIMULACRA, AND IDLENESS

One interpretation sees simulacra and the consumption of signs as a means by which social action can be derailed structurally within the post-capitalist system (e. g., [1]). Thus, rather than becoming *agent provocateurs*, a healthy opposition to the program of global expansion of Western capitalism, the socially marginalized elements of society are effectively neutered at their source. If people feel uncomfortable by the image of an African child with flies in her eyes, they can change TV channels to “Friends” or an Australian soap opera.

All this may in fact be exacerbated by technology and systems engineering research, which assumes progress through the continuous creation of ever more advanced technology products [2]). This can be presented as a positive feedback loop, which self-perpetuates and increases the problem significantly. A major implication of the positive feedback loop is that, according to current techno-science thinkers, the model of technological “progress” may also contain within it

a critical point of over-development at which the system itself reaches an end point² and emerges as an entirely new process in which the previous assumptions no longer hold. In the reading of the post-structural analysis presented in this paper, “escape velocity” (a reference to a relationship between societies of humans and machines) is interpreted as a form of runaway system behavior: in control theory the result of an accelerating positive feedback loop. According to the post-structuralist analysis, this “escape velocity” may already have been reached.

2. ENVIRONMENT

AMAT is leading to high levels of global environmental stress. Globalization of technology appears inevitable, even if protesters against globalization should persuade decision-makers that regional and national markets are preferable to a single global market. Barriers to dissemination of new technology remain ineffective.

Much of the rise in employment during the 1990s was due to increased consumption. It is clear that increased consumption is de-stabilizing the global environment. A continued increase in consumption will, at some point, trigger widespread environmental catastrophes, migrations, ensuing wars, and massive loss of life. These assumptions may seem alarmist. However, note for example that the entire snow cover in the Alps of Switzerland (excepting snow that had fallen on existing glaciers) melted in 2003 for the first time in recorded history. Moreover, Alpine glaciers are receding at rapid rates. Even conservative estimates see the glaciers fully melted by 2020. Some observers estimate that, in terms of providing summer waterflow from glacial melt, no meaningful Alpine glaciers will remain by 2010.

In this view, nature is becoming insignificant and a sort of encumbrance upon technological advance. We continue to create more and more condensed technical systems, functions and models and we transform all the rest into waste — residues. In a sense we have left the earth, we have reached an escape velocity in the west so that we have entered a new reality: hyperreality. This hyperreality transforms the planet itself into a “marginal territory,” a form of waste product. For example, building a freeway (or a toll road) or a shopping center transforms the natural landscape around into wasteland. Even human interaction is subject to this rule. By creating ever-faster communications networks, we reduce human interactions to “txt msgs.” This view of society and environment sees a holistic system of environmental and human waste, (boat people, refugees,

¹ Some authors have attempted to tackle these issues in the literature but deep debate remains elusive.

² In this analysis notions like “end” and “beginning” no longer really apply [3].



human trafficking, nuclear waste and so on) all moving around within this meta-system. In this analysis, nature and human society (if that term still has meaning) are reduced to residues within a hypothetically “managed” system, which is, in fact, a new and even more unmanageable entity. In this post-structural analysis the recycling of waste, the control of emissions and so on are signs of the hyperreality of the Western system. As Baudrillard says:

what is worst is not that we are submerged by the waste products of industrial and urban concentration, but that *we ourselves are transformed into residues* [3, p. 78] (italics in the original).

Disconnectivity and Illusion:

The above argument results in a fatal situation in which the Western world, the world, which creates so many of the environmental problems, is deeply disconnected from the real, the material. We recycle our glass bottles but socially unwanted people become “throw away people”.

3. LABOR

AMAT is leading to increasing unemployment, underemployment and stressors in full employment positions.

Unemployment and Underemployment

Firstly this is a global stressor.

The unemployed are becoming unemployable due to technological advances: for example, ICT literacy is a major issue in Europe.

Underemployment occurs when people work below their skill level or with low pay or less than a desirable number of hours per week. These factors vary by funds needed, job satisfaction cultural expectations, difficulty of travel to work, etc.

Underemployment is a social burden often overlooked in studies of total unemployment. Moreover, underemployment may be part of a continuum leading to complete unemployment.

Post-Structuralism and Catastrophe Theory

It should be noted that this post-structuralist scenario, though perhaps societally accurate, and accurate in the description of markets, assumes that this behavior (Western Behavior, if the reader prefers), can continue unchallenged by environmental forces. At some point disease, famine, or mass migrations under the pressure of extreme environmental change, will stress both the “developed world” (or “over-developed” world in the sense of a runaway system which has reached escape velocity) and the “developing world” so powerfully that social upheaval is capable of creating social chaos. This chaos can be viewed in terms of catastrophes, which entirely realign, or eliminate, under-

lying assumptions. Clearly, the attacks on New York and Washington, DC in the USA on September 11, 2001 were a warning sign of more dramatic, analogous future events. Indeed, the escalation of similar (if less extensive attacks) in Turkey, Saudi Arabia and so on emphasize this from the perspective of the “developed” world. It is important to note that the “developing world” exists in large pockets even in the most advanced nations of the West. One need merely refer to poverty and unemployability among people of South Central Los Angeles or the vast “favelas” surrounding the glittering towers of Sao Paulo in Brazil.

Displacement and Underemployment

People unemployed because the work for which they are qualified has been displaced by AMAT may elect to accept work below their optimal skill level (underemployment). After a time, this leads to loss of hard-won skills and also to diminished self-esteem.

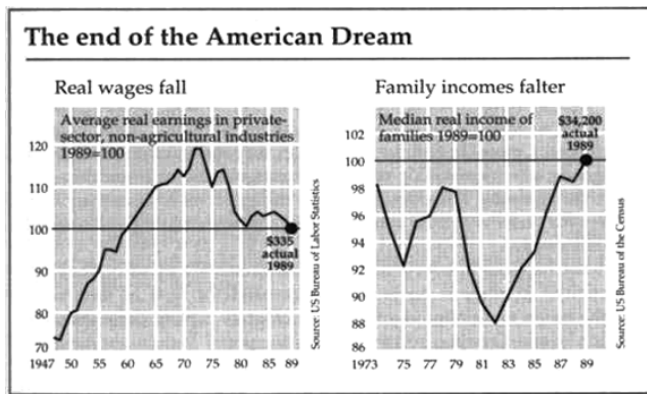
Data regarding underemployment are scanty. It is common knowledge that many people are employed below their skill levels, suggesting that little serious effort has been made to quantify data reflecting the seriousness of this issue. During our travel to the Former Republic of Yugoslavia in May, 2000, highly educated citizens of one of its successor states told the authors that 50% of workers were unemployed. Some of the 50% unemployed were professional people working in a shadow economy, often below a suitable skill-level.

When a person displaced by AMAT accepts work below his/her skill level, another, less skilled person is displaced. The displaced person may accept a position beneath his/her skill level. In this way, underemployment cascades through a chain of skill levels at large costs to many people, each working at a lower level than previously.

An economy, with high productivity through use of AMAT, can create underemployment across many sectors of the economy. Underutilized human capacity increases further as potential customers earn too little to purchase products of the seemingly improved economy. This is a positive feedback loop with negative consequences for the economy.

Employment

In this context, effects on the workplace are primarily a “developed” world stressor. The employed are under increasing stress due to technological “advances.” For example, figure shows a decline in real wages in recent years. Furthermore, evidence gathered in modern organizations indicates that people are seeking medical attention for technology-induced stress-related illnesses [4]. By current standards more people in developed societies are overworked than at any time since the post-World War 2 recovery period.



The Average weekly earnings feel considerably between 1947 and 1990. The rise in family incomes in the 1980s is attributed to the large increase in women workers. Evidence suggests that this trend is continuing into decade [2, p. 81].

For many in the “developed” world, the nature of work has changed with the increasing pace of technology change. Consequences include invasion of personal space by information and communications technologies [5], increased stress in the workplace as people must adapt more and more to globally constituted integrated information and automation systems [6], sweatshop-call centers and so on [7].

4. DISENFRANCHISEMENT AND DESTABILIZATION

The technology development program, underpinned as it is by the profit motive and the dynamics of a post-structuralist consumer “society”, may exacerbate the systemic problems which leave so many people disenfranchised from global wealth creation systems.

The Dislocation of the Disenfranchised — 1

Enormous masses of rural poor in the developing world are never exposed to the products which comprise the globalization of technology. However, they are exposed through mass entertainment media to the supposed benefits of new technology. Most of these same areas are the source of rapid population growth, further increasing pressure for increased consumption and unrest following inability to attain the unrealistic consumption goals set forth in the mass media.

Furthermore, the disjunction between Western goals and methods on the one hand and the processes at work in developing societies are exacerbated by technological developments and systems engineering research based on the idea of progress as the creation of ever more advanced technological products. This acts as a positive feedback loop, which perpetuates and exacerbates the social and technical dissonance between the West and much of the developing world.

The Disappearance of the Disenfranchised — 2

One analysis sees simulacra and the consumption of signs as a means by which social action can be derailed structurally within the post-capitalist system. Thus, rather than opposing expansion of Western industrial goals and methods into developing societies incapable of adapting to these goals and methods, the NGOs may actually facilitate change without analysis of its likely effects. Socially (as well as economically and educationally) marginalized sectors of society are thus excluded from changes occurring in their own nations or regions. As we noted earlier, if people feel uncomfortable by the image of an African child with flies in her eyes, they simply change TV channels to a blandly entertaining program.

Revolution and Neutralization:

The absence of systemic corrective feedback

These stressors would normally lead to revolutionary activity that would destabilize elite power structures. The march of history shows us that these interventions ensure that societies remain stable. So, the peasants’ revolt (an event linked to environmental change as much as anything else) ensured that the feudal system incorporated social impact imperatives. The longer the stressors are allowed to accumulate pressure, the greater the ultimate devastation of the social earthquake that results (witness the collapse of the Roman Empire).

Modern media and consumption structures fill people’s lives to the extent that many have neither the time nor the inclination to agitate. Indeed, where agitation arises, it can be subsumed into a swirl of media fragments, text messages, MMS and the internet, and thus be neutralized. Consequently, the voices of the disenfranchised are reduced to a tiny whisper, and rarely even merit a soundbite on CNN. This is an extremely dangerous situation. To illustrate: in this analysis, the “surprise” of 9/11 (an event predicted by many analysts), and the consequential reverberations through social, financial and political systems, was due to a sudden shock of those outside our hyperreal world suddenly engaging with the West, reminding the West that the tectonics of globalization are part of a positive feedback, rather than negative feedback, loop (the reader is reminded that a “positive” feedback loop is a technical definition of system self-amplification, which finally causes the system to self-destruct. In this sense, positive loop behavior has highly negative consequences). The more subsumed we are into our hyperreality the more disengaged we become with the real, and so on unto infinity.

Globally, this is a highly unstable situation. A comparison with 1920s Germany (when inflation destroyed the economy, destroyed the middle-class, and paved the way for Nazi-ism) illustrates the implications of



massive derailment of major discourse with disenfranchised groups within societies.

To a growing extent technology displaces both manual labor and skilled jobs, including some jobs formerly thought to be “intellectual work.” Increased training is needed with each new generation of technology, dislocating many formerly employable people. Manual work continues to disappear, both in the developed world and in the developing world. Rural workers flock to mega-cities, which are unable to absorb new people at an appropriate rate. As this paper is being written, the political leadership structure of one of the poorest nations in Latin America is collapsing. Political chaos of this sort is so widespread that it can no longer be thought of as a series of collapses. This cascade of political collapse is a phenomenon in its own right. During the 1920s and 1930s similar collapses for largely economic reasons created the conditions for World War 2. The chaos emerging in the early years of the new century are close to triggering global chaos. International events following the September, 2001 attacks on the United States suggest that developed nations lack the will and manpower to contain spreading chaos.

The lessons of Germany in the twenties and thirties lead us to the conclusion that our hyperrealities will become derailed, and come crashing back into the crushing materiality of the poor or the environmental chaos of global climatic change (which may operate according to a step function [8]). In this analysis, technology is a major driver behind 9/11, the terrorist acts of the disenfranchised, or the state behavior of Western powers (which some have interpreted as state terrorism). This raises pointed and disturbing ethical questions for current technology research trajectories.

5. RECOMMENDATIONS

The systems discussed in this paper are extremely complex in terms of several key dimensions including power relations, social impact, technological programs of development and so on. This paper calls for corrective and/or adaptive responses to AMAT, ICT, and other technological forces for societal change. The paper is intended more to stimulate debate for ethicists and social impact research, than provide conclusive solutions. Highly complex systems resist prescriptive solutions. Such systems are better dealt with through navigatory aids, and the identification of patterns and traces [9, 10].

AMAT Responses to Environmental and Social Impacts

With no caps on environmental loading, consequences cannot be predicted. This insight applies to all forms of loading, not merely greenhouse gases. But limiting consumption is very politically charged: Many

people in developed areas believe that they live in a global economy and are thus entitled to consume what they can afford. Additionally, some argue that increased consumption increases employment. These arguments overlook environmental loading. If loading must be capped, consumption must also be capped. Some “consumption” does not increase environmental loading; example: if a TV screen is viewed by five people instead of by four, environmental loading is not affected. “Consumption” of this type is environmentally negligible. However, it is essentially impossible to cap aggregate consumption unless both population and per capita consumption are capped. It is ironic that environmental limits call for capped consumption at the very time that people will have more free time.

It may be that through AMAT the gradual reduction of aggregate worker time needed for routine tasks would release a large pool of available labor to deal with emerging environmental issues. Two alternative scenarios are less promising:

1. Increasing machine-based entertainment, further distracting people from what have until now been considered core dimensions of community life, thus increasing forms of alienation from historically shaped social norms.

2. Increased control of “internet and related learning” by political and/or religious movements, resulting in increasing polarization of society either through social splintering or mass movements resembling group hysteria. The recent phenomenon of “flash mobs” (instant, and very short-lived, i.e., as little as one minute, gatherings of people called together by anonymous email messages) suggests that mobs are easily created. Thus far these flash mobs have been created playfully by people with access to large networks of people in major urban centers. “Mobs” have gathered for minor events such as the opening of a new water fountain. These instant (and highly transitory) crowds (one “mob” dispersed after a planned 20-second duration) have thus far not exhibited classical mob behavior, but a move from playful hysteria to fear-based hysteria is not inconceivable.

Creation of nightmare societal phenomena through new technologies has a long historical pedigree. Clearly, ethicists and social theorists are called to develop new and attractive social theories moving ahead of technological developments. AMAT will undoubtedly migrate rapidly from its present form to new forms as technologies evolve.

This suggests that human behaviors and motivations must change. Motivations can be changed. Many of today’s “wants” would not exist if advertising in mass media had not “created” them. But is a program of “capping” going to deal with the social disconnections described here? Clearly, we are not in a position to answer this question.

CONCLUSION

This paper explores the implications of recent post-structuralist theory for engineering and technology programs of research and development. It merges certain aspects of post-structuralism with the current debate on ethics within automation and control engineering, indicating that this debate must (re)evaluate at a very deep level the core assumptions which underlie the current research trajectories, both in terms of social and environmental impact. It is self-evident that any discussion of ethics for engineers in the 21st century goes far beyond a “code” and goes to the heart of global engineering research activity.

The analysis reveals that, as has long been the case, development of ethics trails development of technology, often at staggering cost.

REFERENCES

1. Chomsky, N. Keeping the Rabble in Line. — AK Press, 1994.
2. Douthwaite, R. The Growth Illusion. — Lilliput Press, 1992.

3. Baudrillard, J. The Illusion of the End. — Stanford University Press, 1994.
4. Stapleton, L. & Murphy, C. Revisiting the Nature of Information Systems: The Urgent Need for a Crisis in IS Theoretical Discourse // Trans. of International Information Systems. — 2002. — Vol. 1, No. 4.
5. Carew, P. & Stapleton, L. Privacy and Intrusiveness: The Legacy of the New Wave of Information Technologies // International Conference of Information Systems Development 2004, in preparation.
6. Stapleton, L. Information Systems and Automation Technology as Social Spaces // in Brandt, et. al., Human Centred Issues in Advanced Engineering. — Elsevier, 2003, forthcoming.
7. Knights, D., Noble, Vurdubakis & Willmott. Allegories of Creative Destruction: Virtual Progress in “progressing” the “virtual” // Proc. on the 19th conference on Organisational Violence and Symbolism (SCOS XIX), Dublin, 2001.
8. Coxon, P. (Here Dr. Coxon uncovered evidence from Irish bog extracts that climatic change in the quaternary period is governed by step functions rather than slow, continuous changes.), 2000.
9. Halpin, L. & Stapleton, L. A Theoretical Framework Based on Complexity Theory For Evaluating Large-Scale Information Systems Development (ISD) projects // Proc. of the European Conference on IT Evaluation (ECITE), 2003, forthcoming.
10. Suchman, L. Plans and Situated Actions. — MIT Press, 1987.

E-mail: lstapleton@wit.ie

fkile@new.rr.com



УДК 340.115.4.003.1

О МОДЕЛЯХ И МЕТОДАХ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИМИ ДИНАМИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ¹

Л. В. Жуковская

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

Предложены модели, методы и технология исследования и управления динамикой сложных социально-экономических систем применительно к решению некоторых региональных и федеральных проблем выхода из системного кризиса и последующего перехода к устойчивому развитию.

ВВЕДЕНИЕ

Роль математических средств в решении проблем устойчивого развития сложных социально-экономических систем состоит в обеспечении:

- моделирования и анализа процессов развития при определенных предположениях об экзогенных переменных;
- конструктивного синтеза параметров системы и управляющего воздействия, обеспечивающих в рамках модели желаемый характер развития.

При этом могут оказаться полезными даже грубые модели, если они могут привести к положи-

¹ Работа выполнена при поддержке РФФИ, грант 02-01-00612.



тельным результатам или к прогнозу возможных негативных последствий.

Желание получить реалистичные оптимистические решения требует уточнения модели, что неизбежно усложняет ее и с точки зрения описания, и с точки зрения исследования. Поэтому необходимы декомпозиция модели и разработка иерархии взаимосвязанных математических моделей, тем более что и структура самих социально-экономических систем носит иерархический характер.

Устойчивое развитие сложных систем (включая выход из кризиса) можно определить с помощью динамического свойства управляемости и сочетает в себе выполнение следующих требований:

- почти монотонного возрастания некоторых показателей развития (ВВП, уровень сбережений, инвестиций, государственных расходов, жизни, рождаемости и т. д.);
- расположения траектории развития системы “как можно ближе” к основной магистрали развития (определяемой программной траекторией движения);
- невыхода системы за пределы ее “поля возможностей”;
- асимптотической устойчивости (стабилизируемости) программной траектории движения;
- гармонизации интересов всех уровней иерархии.

Научное обеспечение задач управления ставит проблемы:

- разработки стабилизирующих управлений;
- согласования критериев эффективности и социальной защищенности;
- согласования межтерриториального и иерархического взаимодействий;
- необходимости учета факторов неопределенности.

Под *неопределенностью* здесь можно понимать неполноту или неточность информации об условиях реализации выбранного решения в социально-экономических системах (последствия негативных воздействий политических, криминогенных, межэтнических, военно-стратегических, медико-биологических, информационных и других факторов).

Данная работа, конечно, не претендует на решение задачи устойчивого развития в полном объеме. Предлагается лишь постановка иерархической задачи и возможные методы ее исследования.

МОДЕЛИ И МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ

Современное состояние теории управления, теории игр и теории многокритериальных задач позволяет исследовать сложные социально-экономические динамические системы. В случае больших размерностей аналитические методы обычно комбинируются с численным моделированием,



Структура системы моделей

применяется декомпозиция моделей. Класс признаков сложных систем (открытость, нелинейность, иерархичность, динамичность), допускающих свое исследование (при подходящих размерностях модели), практически неограничен: если разнообразные определения этих признаков допускают точную формулировку, то применимы, например, метод векторных функций Ляпунова и другие разделы нелинейного анализа, теории дифференциальных игр. Развита эффективные методы построения рациональных управлений. Для численного многовариантного построения траекторий развития применяются компьютерное моделирование и системы интеллектуальной поддержки.

Более трудными проблемами в рассматриваемой области являются построение самой математической модели, идентификация буквенной спецификации модели, прогнозирование научно-технического прогресса и учет факторов неопределенности. Таким образом, технология моделирования и поиска решений в сложных социально-экономических системах базируется на современных методах математического моделирования, системного анализа, теории управления и информатики в условиях многокритериальности, конфликтности, неполноты и неточности информации, при больших структурных возмущениях.

Иерархическую структуру системы моделей можно представить в виде, показанном на рисунке.

Глобальные модели мирового развития, в частности, математические модели глобальных процессов, описывают планетарные эколого-экономиче-

ские процессы, глобальные изменения в биосфере с учетом социальных, политических, военных и других факторов, дополняющих факторы индустриального развития. Они относятся к ноосфере, которая определяет эволюцию планеты.

Информация, полученная при исследовании этих моделей, позволяет сформировать общие ограничения на экономические, экологические и другие процессы в стране, выявить экономические нормативы и тенденции.

Трудности построения моделей федерального и регионального уровней обусловлены следующими факторами:

- сложностью определения характера и темпов дальнейшего развития экономики РФ (процессы разгосударствления и приватизации, демополизации производства, свободные цены и тарифы оказывают неоднозначное воздействие на экономику того или иного региона; необходима дополнительная информация об институциональных аспектах становления рыночной экономики в субъектах федерации);
- сложностью прогнозирования ситуации (с точки зрения будущего состояния экономики), в которой будет рассматриваться тот или иной регион;
- отсутствием ряда числовых параметров в официальной статистике;
- неопределенностью перспектив развития профилирующего промышленного комплекса региона и др.

Модели межтерриториального и иерархического взаимодействия необходимы в связи с важностью задач гармонизации интересов сторон для устранения конфликтов, особенно в условиях политических, экономических и социальных кризисов. Рассмотрено несколько возможных подходов к постановке и решению таких задач. Среди них отметим принцип координации через координирующий Центр [1]; обеспечение устойчивости состояния равновесия по Нэшу в бескоалиционных играх, введение коалиций и обеспечение динамической устойчивости компромисса в кооперативных играх, равновесие угроз и контругроз, принятие решений в бескоалиционных играх при неопределенности [2].

Макроэкономические модели представляют собой формализованные описания различных экономических явлений и процессов с целью выявления функциональных взаимосвязей между ними. Любая модель является упрощенным, абстрактным отражением реальности. Однако с помощью таких обобщенных моделей определяется, например, комплекс альтернативных способов управления динамикой самой системы.

Рассмотрим условную **модель трехступенчатой иерархической системы** “Государство — Центры —

Производители” [3]. Государство “представляет собой целостную органическую систему, для которой характерны собственные характеристики и закономерности функционирования” [4, с. 88]. Оно имеет юридическое и фактическое право корректировать деятельность Центров и Производителей для избежания нестабильности как в экономике, так и в обществе в целом. Общегосударственные цели отождествляются с некоторой программой (например, с комплексом мер по достижению устойчивого роста внутреннего валового продукта). Под *программой* можно понимать перечень объемов конечных продуктов, сформулированный в результате некоторой неформальной процедуры.

Модель программы. Предположим, что в данной экономической системе (условно, в Государстве) вырабатывается M разных продуктов P_1, P_2, \dots, P_M . Для выполнения этой программы необходимо, чтобы эти продукты вырабатывались в течение определенного периода времени и в определенных количествах $P_j^*(t)$ ($j = 1, \dots, M$). Тогда реализация программы в момент времени t характеризуется системой некоторых показателей $r_j(t) = P_j(t)/P_j^*(t)$, а оценку качества реализации программы выпуска j -го продукта в течение определенного периода времени $[0, T]$ можно оценить числом $\bar{r}_j = \min_{t \in [0, T]} r_j(t)$. Государство тем лучше реализует свою программу, чем больше (по $P = (P_1(t), \dots, P_M(t))$ функционал

$$J^{\Gamma}(P) = \min_j \bar{r}_j = \min_j \min_i P_j(t)/P_j^*(t). \quad (1)$$

Это означает стремление к увеличению доли годового продукта в ВВП.

Известно, что сложное, как правило, связано с субординацией уровней, иерархическим принципом построения.

Центры. Предполагаем, что Государство — сложная экономическая система, состоящая из N подсистем, которые будем называть Центрами. Под Центрами можно понимать исполнительные органы власти либо субъектов федерации, либо регионов. Каждый регион или субъект федерации включает в себя промышленный и (или) сельскохозяйственный комплексы, состоящие из N_i производителей. Предположим, что Центр выполняет только функции управления. Задачи Центров:

— распределение государственных инвестиций в основные фонды “своих” предприятий U_i , $i = 1, \dots, N_i$;

— распределение государственных средств по фондам заработной платы $Q_i(t)$ ($i = 1, \dots, N_i$);



— Центру предлагается его программа $P_j^*(t)$ ($i = 1, \dots, N; j = 1, \dots, M$) производства.

Тогда “желания” i -го Центра, можно описать аналогично действию Государства в виде максимизации функционала (по $U = (U_1(t), \dots, U_{N_i}(t))$ и $Q = (Q_1(t), \dots, Q_{N_i}(t))$):

$$J_i^\Pi(U, Q) = \min_j \min_i P_j^i(t) / P_j^{i*}(t) \quad (i = 1, \dots, N_i). \quad (2)$$

Для охвата более широкого класса задач будем считать, что цели i -го Центра описываются некоторым функционалом, зависящим от результатов производственной деятельности производителей, находящихся на территории региона либо субъекта федерации:

$$I_i^\Pi[U, Q] = I_i^\Pi(J_1^\Pi(U, Q), \dots, J_{N_i}^\Pi(U, Q)). \quad (3)$$

Банк. В распоряжении Государства находится Центральный Банк (ЦБ), который служит его интересам. Обозначим через $z(t)$ денежный ресурс, находящийся в ЦБ, т. е. в распоряжении Государства в данный момент времени t . В качестве денежных потоков в ЦБ, опосредованно, можно рассмотреть следующие составляющие.

- **Налог на основные фонды.** Основные фонды (в единицу времени) k -го Производителя, входящего в i -е объединение (Производитель (i, k)), обозначим $x_{ik}(t)$. Производитель отчисляет из своей прибыли $\lambda_x x_{ik}$ — средства, которые через налоговую систему, в конечном итоге, “стекаются” в ЦБ, т. е. в него поступает

$$z_x^{(t)} = \lambda_x \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{N_i} x_{ik}(t) \quad (4)$$

средств.

- **Налог на добавленную стоимость.** Пусть в единицу времени Производитель (i, k) создал продукт $\{P_1^{ik}(t), \dots, P_M^{ik}(t)\}$. Если c_j — рыночная цена продукта $P_j^{ik}(t)$, а Государству с этого продукта отчисляется сумма c_j^* , то Производитель (i, k) получает

$$\sum_{j=1}^M (c_j - c_j^*) P_j^{ik}(t), \quad (5)$$

а от всех производителей —

$$z_p^{(t)} = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{N_i} \sum_{j=1}^M c_j^* P_j^{ik}(t) = \sum_{j=1}^M c_j^* P_j(t), \quad (6)$$

где P_j — суммарный j -й продукт.

- **Процент от кредита Центрам.** Если $y_i(t)$ — количество денег, которое i -й Центр взял в кредит у ЦБ, то он выплачивает ему в единицу времени деньги в размере $\lambda_{y_i} y_i(t)$ ($\lambda_{y_i} = \text{const}$). При этом Банк в форме процента от кредита в единицу времени получает сумму

$$z_y(t) = \sum_{i=1}^M y_i(t) \lambda_{y_i}. \quad (7)$$

- **Процент от кредита производителям.** Иногда Государству “выгодно”, минуя Центры, непосредственно влиять на активность производителей. Если $y_{ik}(t)$ — размер полученного производителем (i, k) кредита под процент $\lambda_{y_{ik}}$, то ЦБ в течение единицы времени получает сумму

$$z_{yy}(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{N_i} \lambda_{y_{ik}} y_{ik}(t). \quad (8)$$

Коэффициенты λ_{y_i} , $\lambda_{y_{ik}}$ — некоторые параметры, находящиеся в распоряжении Государства.

Общий доход Государства расходуется следующим образом:

— непроизводственные расходы в единицу времени $R(t)$, которые являются заранее фиксированными функциями времени;

— внутренние инвестиции Государства $R_u(t)$, которые складываются из сумм $U_i(t)$:

$$R_u(t) = \sum_{i=1}^N U_i(t); \quad (9)$$

— средства, выделяемые Государством на оплату труда работников бюджетной и небюджетной сфер (фонды заработной платы),

$$Q(t) = \sum_{i=1}^N Q_i(t), \quad (10)$$

ограниченные, по существу, объемом продукции, которую можно приобрести за эти деньги:

$$Q(t) \leq \sum_j c_j P_j(t), \quad (11)$$

где суммирование распространяется по всем индексам j , которые отвечают продуктам из потребительской корзины;

— общая сумма кредитов Центрам $R_y(t)$ — складывается из тех средств, которые в единицу времени Центры берут займы у ЦБ:

$$R_y(t) = \sum_{i=1}^N v_i(t); \quad (12)$$

— общая сумма кредитов производителям

$$R_{yy}(t) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^{N_i} v_{ik}(t). \quad (13)$$

Максимальный объем кредитов лимитируется Банком — это кредитная политика (управление) Государства:

$$0 \leq v_i(t) \leq v_i^+(t, y_i), \quad (14)$$

$$0 \leq v_{ik}(t) \leq v_{ik}^+(t, y_{ik}, x_{ik}, P_j^{ik}). \quad (15)$$

Таким образом, управления ЦБ в общем случае зависят и от объема капиталов, уже взятых в кредит, и от результатов функционирования.

Кроме ограничений (14) и (15) на размер текущих займов должны быть добавлены ограничения и на общую сумму кредита, находящегося в распоряжении кредитруемого:

$$y_i(t) \leq y_i^+(t), \quad (16)$$

$$y_{ik}(t) \leq y_{ik}^+(t).$$

Изменение капитала, находящегося в распоряжении Государства — ЦБ, описывается следующим скалярным дифференциальным уравнением:

$$\dot{z} = z_x + z_p + z_y + z_{yy} - R - R_u - Q - R_y - R_{yy},$$

где величины в правой части описываются формулами (4), (6)–(13).

Задача Государства — так распорядиться управляющими воздействиями $U_i(t)$, $Q_i(t)$, λ_x , c_j^* , λ_y , λ_{yy} , v_i^+ , v_{ik}^+ , y_i^+ , y_{ik}^+ , чтобы максимизировать функционал (1).

Функционирование Центра. Предполагается, что Государство информирует о своих решениях Центры и Производителей. Каждый i -й Центр располагает некоторым объемом средств $U_i(t)$, кредитом, который в пределах ограничений (14) и (16) он может взять из банка. Данные средства расходуются на инвестиции производителям и выплату процентов по кредиту:

$$U_i(t) + v_i(t) = \sum_{k=1}^{N_i} U_{ik}(t) + \lambda_{y_i} y_i(t). \quad (17)$$

Если Центр хочет иметь резервный фонд, то равенство (17) заменяется неравенством

$$U_i(t) + v_i(t) \geq \sum_{k=1}^{N_i} U_{ik}(t) + \lambda_{y_i} y_i(t),$$

причем y_i в этом неравенстве и (или) в равенстве (17) определяется уравнением

$$\dot{y}_i = v_i(t). \quad (18)$$

Распределение ресурса и выбор размера кредитов у Банка — управляющие воздействия Центра. Кроме того, Центр распределяет средства, выделенные на оплату труда,

$$Q_i(t) = \sum_{k=1}^{N_i} Q_{ik}^*(t) + q, \quad (19)$$

где q_i — строго регламентированное число, либо фиксированное, либо является однозначной функцией функционала J_i^H .

Наконец, Центр назначает функции поощрения (наказания) Производителей $\phi_{ik}^j(P_j^{ik})$ ($j = 1, \dots, M$; $i = 1, \dots, N$; $k = 1, \dots, N_i$).

Функции поощрения (или штрафа) подчиняются системе ограничений

$$\sum_{j=1}^M \sum_{k=1}^{N_i} \phi_{ik}^j(P_j^{ik}) + \delta_i = 0, \quad (20)$$

где δ_i — некоторая часть благ, получаемая Центром.

Задача i -го Центра — так распорядиться управляющими воздействиями $U_{ik}(t)$, $Q_{ik}(t)$, ϕ_{ik}^j , $y_i(t)$, при ограничениях (17)–(20), чтобы максимизировать функционал (3).

Производитель. Нижний уровень рассматриваемой иерархической системы занимается Производителем. Каждый Производитель обладает определенным капиталом (фондом) x_{ik} , необходимым для производства продукта P_j^{ik} . Развитие фондов описывается дифференциальным уравнением

$$\dot{x}_{ik} = -\chi_{ik} x_{ik} + u_{ik}(t) + w_{ik}(t),$$

где $w_{ik}(t)$ — внутренние инвестиции в единицу времени, χ_{ik} — коэффициент.

Производство описывается функциями F_j^{ik} вида $P_j^{ik} = F_j^{ik}(x_{ik}^j, \gamma_{ik}^j, L_{ik}^j)$. Здесь x_{ik}^j — доля капитала x_{ik} , используемая для производства j -го товара $\sum_{j=1}^M x_{ik}^j = x_{ik}$. Стоимость продукции, реализован-

ной Производителем (i, k), равна $\sum_{j=1}^M c_j P_j^{ik}$.

Поток денег, получаемый Производителем в единицу времени, складывается из стоимости реализованной продукции и кредита $v_{ij}(t)$, получае-



мого от Государства. Эти деньги расходуются следующим образом:

- выплачивается государству налог на добавленную стоимость $\sum_{j=1}^M c_j^* P_j^{ik}$;
- выплачивается налог на фонды $\lambda_x x_{ik}$;
- выплачивается заработная плата $Q_{ik}(t) = \sum_{j=1}^M \gamma_{ik}^j L_{ik}^j$, причем $Q_{ik}(t) \leq Q_{ik}^*(t)$;
- производятся внутренние инвестиции $w_{ik}(t)$;
- выплачивается Центру штраф (или получается поощрение) $\phi_{ik}^j(P_j^{ik})$.

Разность

$$\psi_{ik} = \sum_{j=1}^M (c_j - c_j^*) P_j^{ik} + v_{ik} - \lambda_x x_{ik} - w_{ik} - \sum_{j=1}^M \gamma_{ik}^j L_{ik}^j - \sum_{j=1}^M \phi_{ik}^j(P_j^{ik})$$

представляет собой доход Производителя (i, k), который он может расходовать по своему усмотрению.

Цель Производителя (i, k) — максимизировать суммарный доход

$$J_{ik}^{\Pi} = \int_0^T \psi_{ik} dt. \quad (21)$$

Гипотеза об информированности Производителя (i, k): он знает структуру функций поощрения и размер инвестиций из Центра.

Правила функционирования системы. Чтобы данная система могла функционировать, должны быть сформулированы определенные “правила игры”. Прежде всего, должен быть определен порядок ходов. Учитывая порядок и структуру построения федеральной системы, первый ход должно делать Государство — оно сообщает Центрам и Производителям значения своих управляющих параметров и функций. После этого задача сводится к анализу двухступенчатой иерархии. В этой системе следующий ход делают Центры — они сообщают Производителям значения своих управляющих воздействий. Теперь каждый Производитель должен сделать свой ход — принять свои решения, т. е. выбрать значения управляющих функций и параметров.

Гипотеза Γ_{ik} поведения Производителя (i, k) состоит, например, в том что он максимизирует функционал (21), т. е. максимизирует доход. Его решения (управляющее воздействие Производителя) является функционалом от управляющих воздействий Центров и Государства. Причем это решение не сообщается Центрам. В свою очередь,

Центры принимают решения и не сообщают его Государству.

Гипотеза Γ_{ik} поведения i -го Центра — максимизация его целевых функций (2), т. е. максимизация результатов производственной деятельности промышленных или сельскохозяйственных комплексов, находящихся на его территории. При выборе своих управляющих воздействий Центр основывается на гипотезе Γ_{ik} поведения Производителей. Всего этого достаточно, чтобы принять решение по данному кругу вопросов на верхнем уровне Государства, поскольку управляющие функции Центров будут некоторыми функционалами от управляющих воздействий Государства. Будем называть план распределения ресурсов Государства и стратегию использования бюджета *оптимальными*, если они доставляют максимальное значение функционалу (1), т. е. осуществляющие наилучшее выполнение программы Государства при гипотезах Γ_i, Γ_{ik} . Оптимальные планы Центра и Производителей при этом определяются оптимальным планом Государства и гипотезами Γ_i, Γ_{ik} .

Определение решения трехуровневой игры. Дадим формальную математическую формализацию решения трехступенчатой дифференциальной игры. Игроков будем называть — Государством, Центром и Производителем. При этом следует указать взаимодействие между игроками нижнего уровня иерархии. В зависимости от условий, в которые “погружена” игра, принципы взаимодействия либо устанавливает Центр, либо выбираются игроками нижнего уровня независимо от Центра (что в действительности встречается чаще). Поэтому возникает вопрос о теоретико-игровых концепциях оптимальности, которым должны следовать игроки нижнего уровня при выборе стратегий. Так, на нижней ступени иерархии может возникнуть как бескоалиционный (игроки выбирают свои стратегии независимо друг от друга) вариант игры, что соответствует *конкурентному рынку*, так и кооперативный вариант (“кооперативная игра”) — противоположный бескоалиционному. В кооперативном варианте все игроки выбирают свои стратегии совместно и согласованно. В этом случае, рассматривается *монопольная структура*. Коалиционный вариант (все игроки распределены на попарно непересекающиеся группы (коалиции), внутри которых кооперативный вариант, а между коалициями — бескоалиционный), что соответствует *олигополистической структуре рынка*. Далее (чтобы избежать громоздкости математических записей) предположим, что на втором и третьем уровнях иерархии находится только по одному игроку.

Итак, пусть динамика иерархической игры описана системой дифференциальных уравнений

$$\dot{x} = f(t, x, u_G, u_C, u_P), x(t_0) = x_0. \quad (22)$$

Здесь фазовый вектор $x \in E^n$, стратегии Государства $u_\Gamma \in \mathfrak{Z}_\Gamma$, стратегии Центра $u_\Pi \in \mathfrak{Z}_\Pi$ и стратегии Производителя $u_\Pi \in \mathfrak{Z}_\Pi$. Используемые здесь и далее параметры, функции и множества удовлетворяют обычным ограничениям теории дифференциальных игр [2].

Функции выигрыша “игроков” определены функционалами

$$J_i(u_\Gamma, u_\Pi, u_\Pi) = \Phi_i[T, x(T)] + \int_{t_0}^T F_i(t, x, u_\Gamma, u_\Pi, u_\Pi) dt$$

$$(i = \Gamma, \Pi, \Pi). \quad (23)$$

Предположим, что вводимые далее отображения R_i однозначны.

Пусть

1) существует отображение $R_\Pi : \mathfrak{Z}_\Gamma \times \mathfrak{Z}_\Pi \rightarrow \mathfrak{Z}_\Pi$ такое, что для каждой фиксированной пары $\{u_\Gamma, u_\Pi\} \in \mathfrak{Z}_\Gamma \times \mathfrak{Z}_\Pi$ имеет место

$$\max_{u_\Pi \in \mathfrak{Z}_\Pi} J_\Pi(u_\Gamma, u_\Pi, u_\Pi) = J_\Pi(u_\Gamma, u_\Pi, R_\Pi(u_\Gamma, u_\Pi));$$

2) существует такое отображение $R_\Pi : \mathfrak{Z}_\Gamma \rightarrow \mathfrak{Z}_\Pi$, что при каждом фиксированном $u_\Gamma \in \mathfrak{Z}_\Gamma$

$$\max_{u_\Pi \in \mathfrak{Z}_\Pi} J_\Pi(u_\Gamma, u_\Pi, R_\Pi(u_\Gamma, u_\Pi)) =$$

$$= J_\Pi(u_\Gamma, R_\Pi(u_\Gamma), R_\Pi[u_\Gamma, R_\Pi(u_\Gamma)]);$$

3) существует допустимая стратегия Государства $u_\Gamma^0 \in \mathfrak{Z}_\Gamma$ такая, что

$$\max_{u_\Pi \in \mathfrak{Z}_\Pi} J_\Gamma(u_\Gamma, R_\Pi(u_\Gamma), R_\Pi[u_\Gamma, R_\Pi(u_\Gamma)]) =$$

$$= J_\Gamma(u_\Gamma^0, R_\Pi(u_\Gamma^0), R_\Pi(u_\Gamma^0, R_\Pi(u_\Gamma^0))).$$

Определение. *Определенную в пп. 1–3 стратегию u_Γ^0 назовем гарантирующей стратегией Государства, а тройку $\{u_\Gamma^0, R_\Pi(u_\Gamma), R_\Pi(u_\Gamma, u_\Pi)\}$ — решением трехуровневой иерархической игры (22), (23).*

Применение Государством гарантирующей стратегии приводит к увеличению доли готового продукта в ВВП.

Таким образом, определено управляющее воздействие Государства на экономические процессы

на всех трех уровнях иерархии. Содержание этого воздействия определяется функциями, которые Государство выполняет по отношению к экономике. Государство создает правовые институты, упорядочивающие отношения между экономическими агентами и гарантирует соблюдение этого порядка. Оно способствует выполнению экономическими подсистемами своих функций. В целом же государственное регулирование экономических процессов должно обеспечивать выполнение экономикой своей главной функции — производства необходимого количества благ и услуг, удовлетворяющих потребности как членов общества, так и Государства в целом.

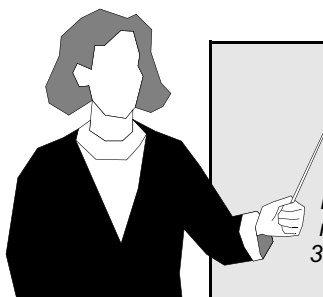
ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведем слова В. Лукаса, которые характеризуют обозначившееся влияние теории игр: “Можно утверждать, что теория игр n лиц является, по общему мнению, областью самого активного развития в теории игр и что здесь в последние годы появились существенные математические достижения. Это самая подходящая теория решения многих проблем в социальных науках...”. Отметим, что в приведенной фразе слово “дифференциальные” отсутствует только по недоразумению (по мнению автора) и что возможны и другие методы исследования таких задач [5].

ЛИТЕРАТУРА

1. Месарович М., Такахара Я. Общая теория систем: математические основы. — М.: Мир, 1978.
2. Vaisbord E. M., Zhukovskiy V. I. Introduction to Multi Player Differential Games and their Applications. — N.-Y.: Gordon and Breach, 1988.
3. Моисеев Н. Н. Элементы теории оптимальных систем. — М.: Наука, 1975.
4. Шахматов Ф. Государство и экономика (Власть и бизнес). — М., 1999. — С. 88.
5. Жуковский В. И., Жуковская Л. В. Риск в многокритериальных и конфликтных системах при неопределенности. — М.: Едиториал УРСС, 2004.

☎ (095) 334-90-09



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.



ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СРЕДА ПОДДЕРЖКИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

С. А. Пиявский

Самарский государственный архитектурно-строительный университет

Рассмотрены концепция формирования Интернет-сообществ как закономерного этапа развития человечества и связанные с этим процессом характерные черты телекоммуникационной среды поддержки инновационной деятельности. Изложен опыт реализации данного подхода применительно к молодежному научному Интернет-сообществу.

1. УСТОЙЧИВОЕ РАЗВИТИЕ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА И ИНТЕРНЕТ

Современный этап жизни человечества носит критический характер. С одной стороны, он характеризуется запредельным воздействием совокупной человеческой деятельности на биосферу. Как показано А. П. Федотовым [1], коэффициент антропогенной перегрузки биосферы уже превысил допустимое значение как для наиболее развитых стран, так и для мира в целом. С другой стороны, человечество оказалось в опасной зависимости от разрушительных действий небольших группировок и даже отдельных личностей (масштабные теракты и шантаж экстремистских организаций, не продуманные решения руководителей отдельных стран). Столь угрожающей ситуации в истории еще не встречалось. Точнее говоря, она встречалась неоднократно, но в пределах автономных образований (стадо, племя, государство), коих на Земле было великое множество. Те из них, которые не могли найти благополучный выход, исчезали, зато остальные вырабатывали и передавали далее человечеству бесценный опыт преодоления кризисов. Он концентрировался в морали, предопределяющей эффективное поведение отдельных личностей в интересах коллективного выживания, понимание и поддержку ими новых технологий взаимодействия с природной средой. Отметим в связи с этим развитую Н.Н. Моисеевым концепцию системы “Учитель” [2]. Эта система, по его представлениям, в свое время породила новый вид памяти и моральный императив “не убий”, сделавшие человека *homo sapiens*.

Важно отметить, что речь идет не об умении выработки “правильных” решений управляющим

слоем общества. Речь идет о восприятии практически *всеми его членами* некоторого плодотворного в данных условиях мировоззрения, которое, уже в частности, диктует правильность управляющих решений.

В нынешней ситуации, когда человечество едино (или, безусловно, станет таковым в обозримом будущем) и единственный, испытанный эволюцией для формирования эффективного мировоззрения путь “проб и ошибок”, невозможен. Между тем, необходимость соразмерять частные, сиюминутные интересы, которые движут каждым человеком, с интересами человечества в целом и, в конечном счете, этого же конкретного человека — неотвратима.

Возможно, отчасти решение проблемы состоит в использовании уникальных технологических возможностей Интернета по сбору, передаче и обработке информации, особенно в связи с тенденцией его объединения с телевидением и мобильной связью. В перспективе это позволит людям в процессе каждодневной деятельности совместно “проигрывать” различные варианты собственного и коллективного поведения. На этой основе в реальной жизни будет реализовываться достаточно эффективное и максимально согласованное поведение просто потому, что оно наиболее “выгодно” каждой личности в данный момент. Реальные “пробы и ошибки” максимально будут заменены пробами и ошибками в виртуальном, но тесно связанном с реальностью мире, предоставленным Интернетом. Человечество станет *Интернет-сообществом*, обладающим не только единой системой сбора и распространения информации, но и единой системой принятия решений, основанной на целостном моделировании реальности.

Таким образом, важно осознать, что разработка и применение масштабных информационных систем приводит не только к достижению непосредственной “производственной” цели, послужившей стимулом к их созданию, но и способствует трансформации мотивов и способа поведения пользователей этих систем в прогрессивном направлении. Этот процесс носит закономерный характер и развивается независимо от того, осознан он или нет, однако скорость его развития существенно зависит от этого. Для общества же важно, чтобы эта скорость превосходила скорость нарастания кризисных процессов, а потому необходимо специальным образом строить масштабные информационные системы с особым учетом этой их дополнительной важнейшей задачи.

В какой сфере жизни человечества можно начать это делать наиболее эффективно? Представляется, что это — сфера инновационной деятельности в области высоких технологий. Доводы в пользу этого таковы.

- Инновационная деятельность является, при неадекватной ее организации, одним из наиболее опасных источников кризисных явлений.
- В этой сфере сосредоточены значительные капиталы, которые могут обеспечить необходимые для развития соответствующей телекоммуникационной среды вложения в случае, если у их владельцев возникнет такая потребность. Потребность же определяется:
 - нуждами самой инновационной деятельности;
 - необходимостью подготовки общественного мнения и потребителей новой продукции к ее использованию, а также принятию сопутствующих технологий производства с учетом их последствий;
 - необходимостью аргументированного лоббирования своих интересов в государственных и политических структурах.
- В этой области работают высококвалифицированные специалисты, хорошо подготовленные к восприятию новых Интернет-технологий и испытывающие интерес к их развитию и применению.
- В обществе, в его общественных, политических и государственных институтах существует повышенный интерес к высоким технологиям, их продукции, преимуществам и опасностям, которые они представляют; он явится стимулом к развитию и применению ими обсуждаемой Интернет-технологии.

Высказанные соображения приводят к тому, что создание телекоммуникационной среды поддержки инновационной деятельности (ТКСПИ) в том понимании, которое изложено ранее, является актуальной и перспективной задачей.

Итак, под ТКСПИ понимается непрерывно развивающийся комплекс вычислительных, телеком-

муникационных, программных, информационных и организационных средств и технологий, который:

— совместно используется территориально распределенными различными группами пользователей, представляющими значительную часть общества, в процессе эффективной инновационной научно-технической деятельности, а также в сопряженных с нею областях жизни;

— способствует формированию у пользователей в процессе их деятельности морали и стереотипов поведения, обеспечивающих выработку взаимоприемлемых эффективных решений, обеспечивающих, в конечном счете, устойчивое развитие человечества.

1.1. Требования к телекоммуникационной среде поддержки инновационной деятельности

Основные требования к ТКСПИ можно сформулировать следующим образом.

- Формировать и поддерживать многоуровневую (мир, страна, отрасль, территория, сфера экономики и т. п.) модель текущего состояния и прогноза развития моделируемой сферы инновационной деятельности в зависимости от решений, принимаемых различными категориями пользователей ТКСПИ (государственные органы, политические и общественные организации, экономические структуры, научно-технические специалисты, отдельные граждане).
- Развиваться эволюционно, постепенно расширяя круг пользователей и наращивая свои возможности. При этом на всех стадиях развития включать в число пользователей рядовых граждан, имея в виду перспективу достижения основной цели ТКСПИ — формирования нового мировоззрения, основанного на комплексном прогнозировании последствий инновационной деятельности.
- Обеспечивать пользователей дружественным интерфейсом, комплексом мощных средств анализа ситуации (информационного поиска, математической статистики, агрегирования и сопоставления информации, визуализации многомерных данных и пр.) и принятия решений в условиях неопределенности, возможностью накопления надежно защищенных индивидуальных банков данных.
- Обеспечивать пользователей возможностью совместной аналитической деятельности на основе телекоммуникаций (формирование виртуальных общественных организаций и научно-технических коллективов, согласование дискуссионных вопросов путем форумов и телеконференций, организуемых на базе эффективных технологий поиска компромиссов, предоставление разрешенной и обезличенной информа-



ции о поведении и предпочтениях пользующихся ТКСПИ лиц).

- Помимо предоставления принципиально новых возможностей, обеспечивать на основе телекоммуникаций реализацию достаточно значимой доли привычной деятельности пользователей (например, предоставление интегрированной и детальной информации, прием и обработка заявок и заказов, мониторинг и управление деятельностью, ее информационная, методическая и вычислительная поддержка) для того, чтобы снять психологический барьер, сформировать привычку к пользованию ТКСПИ, получить определенную финансовую поддержку уже на начальных стадиях ее формирования.
- Способствовать рефлексии, т. е. осознанию обществом вырабатываемых им в процессе пользования ТКСПИ моральных норм и стереотипов поведения, способствующих устойчивому развитию мира.
- Начиная с определенной стадии развития, стать самоокупаемой системой и приносить прибыль.

1.2. Критерии эффективности

Качество ТКСПИ оценивается:

- числом пользователей;
- долей основной деятельности пользователей, покрываемой ТКСПИ;
- долей принципиально новых технологий деятельности в общем объеме технологий инновационной деятельности, реализуемых ТКСПИ;
- долей функций принятия решений в общем числе функций, реализуемых ТКСПИ;
- долей функций прогнозирования и моделирования последствий решений в общем числе функций, реализуемых ТКСПИ;
- долей функций, требующих согласованного принятия решений в общем числе функций, реализуемых ТКСПИ;
- степенью повышения эффективности (социальной и научно-технической) инновационной деятельности благодаря ТКСПИ;
- степенью влияния ТКСПИ на формирование моральных норм и стереотипов поведения пользователей, способствующих устойчивому развитию мира;
- степенью экономической окупаемости ТКСПИ.

2. ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННАЯ СРЕДА ПОДДЕРЖКИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В СФЕРЕ ОБРАЗОВАНИЯ

2.1. Молодежное научное Интернет-сообщество

Рассмотрим некоторые аспекты организации ТКСПИ на примере сферы образования в той ее части, которая смыкается в формирование кадрового потенциала инновационной деятельности.

Под молодежным научным Интернет-сообществом (МНИС) мы понимаем коллектив молодых исследователей и связанных с ними лиц, чья совместная научная и обеспечивающая ее деятельность протекает, организуется и управляется преимущественно в среде Интернет. Молодежные сообщества различного направления в настоящее время начинают интенсивно функционировать в Интернете. В качестве зародышей МНИС можно рассматривать сайты Российских образовательных программ www.bmstu.ru/~apfn, www.unk.org.ru, студенческие сайты типа www.sachok.ru, научно-популярный Интернет-журнал www.membrana.ru. Попыткой формирования МНИС является и разработанный под нашим руководством на факультете информационных систем и технологий Самарского государственного архитектурно-строительного университета портал Молодежного научного Интернет-сообщества www.sciyouth.ru [3]. При этом существенная особенность нашего подхода состоит в рассмотрении МНИС как целостного объекта управления, функционирующего во взаимодействии с окружающей средой под управлением распределенного субъекта управления, который осознает себя таковым, а потому вырабатывает и реализует воздействия на основе осознанных целей и критериев, математических моделей, располагаемых ресурсов и обратных связей [4, 5].

В число членов МНИС мы включаем молодых исследователей (школьников старших классов, студентов и аспирантов), их научных руководителей, организаторов учебно-развивающей творческой деятельности молодежи, ученых, исследующих этот феномен. Таксономически МНИС является формой функционирования молодежного научного сообщества, которое входит в сферу образования и органически взаимодействует с научным сообществом, являясь его “исток”. Деятельность МНИС разворачивается на различных уровнях:

- индивидуальная деятельность членов МНИС;
- коллективная деятельность пар “ученик—учитель” и микроколлективов “ученики—учитель” как при решении отдельных учебно-исследовательских и исследовательских задач, так и при длительном совместном функционировании;
- функционирование сложившихся исследовательских коллективов с молодежным участием в процессе решения отдельных задач и в течение достаточно длительного времени;
- функционирование МНИС в целом.

2.2. Субъект управления

Многоуровневый и распределенный субъект управления МНИС включает в себя государство, общественные организации научного и молодежного направлений, научные и образовательные уч-

реждения, непосредственно ученых, преподавателей и молодых исследователей. В условиях России ведущим субъектом управления, безусловно, является государство, и не только потому, что оно приняло на себя ответственность за сферы науки и образования, учредив соответствующие министерства. Проблема устойчивого развития страны самым непосредственным образом связана с эффективным функционированием научного сообщества, необходимой предпосылкой которого является развитие МНИС [6]. Действительно, в связи с интенсивным формированием ноосферы, глобальным характером человеческой деятельности и риском катастрофических последствий неразумных решений роль науки существенно возрастает. Особенно важен при этом временной фактор, поскольку именно различие в темпах трех процессов — развития катастрофических ситуаций, их осмысления и предупреждения — может иметь тяжелые последствия. Между тем существует опасность, что:

- критические ситуации будут осознаны государственными органами не в результате настойчивости научного сообщества, прогнозирующего эти ситуации, а лишь тогда, когда их уже невозможно не заметить, соответственно мобилизация средств на их осознание, разработку проектов воздействия и реализацию воздействия произойдет недопустимо медленно;

- к решению сопутствующих научных проблем будут привлечены недостаточно квалифицированные коллективы, во многом лишь на основе личных знакомств;

- ввиду медленного темпа обмена информацией и согласования спорных позиций научное сообщество не успеет, хотя и имея весь необходимый потенциал, решить необходимые для адекватного реагирования научные проблемы;

- ввиду флуктуаций численности и возрастной структуры, в нужный момент научное сообщество не будет иметь необходимого кадрового потенциала;

- ввиду неожиданного (по содержательной структуре) характера возникших критических ситуаций научное сообщество не будет готово их осмыслить.

Противодействие этим угрозам требует эффективного управления со стороны государства функционированием научного сообщества как целостного объекта управления и его перевода на уровень современных информационных и коммуникационных технологий. Другой, не менее важный фактор, заключается в стремлении обеспечить нашей стране достойное место среди прочих государств в современном высокотехнологичном мире. Наиболее же динамичной и восприимчивой к новым технологиям является молодежная часть научного сообщества. Это и определяет заинтересованность государства в первоочередном развитии МНИС.

2.3. Цели и задачи

В условиях современной России основная цель МНИС заключается в управляемом и максимально эффективном применении информационных и коммуникационных технологий развития молодежного научного потенциала страны как необходимой предпосылки устойчивого функционирования и обеспечения достойного места России в современном мире. Основным источником развития мы считаем собственную исследовательскую деятельность научной молодежи, оптимальным образом поддерживаемую и направляемую научными руководителями, стимулируемую и постепенно включаемую в общий научный процесс. Эта цель предполагает:

- перенос достаточно весомой части деятельности научной молодежи в среду Интернет и создание тем самым объективных предпосылок к ее целостному функционированию в качестве управляемого сообщества;

- научно обоснованное прогнозирование и стратегическое планирование развития молодежного научного потенциала страны и формирование соответствующих предложений в руководящие органы;

- обеспечение соответствия тематики молодежных исследований текущим и перспективным потребностям общества, тенденциям развития науки и техники на основе обеспечения взаимодействия участников МНИС с учеными и научными коллективами, будущими работодателями и заказчиками исследований;

- информационную и методическую поддержку оптимального формирования и функционирования пар “ученик—учитель” и молодежных научных микроколлективов, в том числе территориально распределенных;

- научно обоснованную оценку уровня проявленных способностей каждого молодого исследователя, формирование и стимулирование реализации научно обоснованной индивидуальной стратегии наиболее эффективного развития способностей членов МНИС в процессе их исследовательской деятельности, долговременный мониторинг индивидуального развития и эволюции МНИС в целом.

2.4. Портал молодежного научного Интернет-сообщества

Средой функционирования МНИС является специализированный портал, в качестве прообраза которого мы рассматриваем упомянутый ранее портал www.sciyouth.ru. В настоящее время он носит локальный характер, охватывая, в основном, Самарский государственный архитектурно-строительный университет и Самарскую областную систему мер по поиску, развитию, поддержке и за-



креплению в области одаренной молодежи в сфере науки и техники, однако полностью готов к расширению контингента участников МНИС на другие территории и организации. Он строится вокруг базы данных, которая содержит сведения о:

- молодых исследователей (школьниках и студентах);
- ученых, в частности, научных руководителей;
- выполняемых и завершенных учеными и молодыми исследователями НИР, их промежуточных и конечных результатах;
- учебном графике и ходе его выполнения;
- учебно-методических материалах, обеспечивающих учебный процесс.

В базе данных содержатся также классификаторы критических направлений науки и техники, отчеты по НИР, научные статьи, рефераты, учебно-методические и научно-популярные материалы и много иной информации.

Портал, в частности, обеспечивает:

- регистрацию и корректировку личных данных молодых исследователей и научных работников;
- интеллектуальный поиск друзей, коллег, тематики исследований;
- тестирование индивидуальных характеристик, существенных для оптимизации развития научных способностей;
- моделирование стратегий собственного развития;
- оценку текущей научной квалификации;
- выбор научного руководителя;
- формирование оптимальной структуры планируемой исследовательской работы;
- мониторинг хода выполнения творческой работы;
- оценку выполненной творческой работы и изменения собственной научной квалификации в процессе ее выполнения;
- мониторинг успеваемости и внеаудиторной активности студентов;
- представление результатов исследований и интеллектуальный поиск в Интернете;
- поддержку принятия сложных решений;
- поддержку трудоустройства.

В частности, в режиме “Регистрация”, помимо обычных учетных сведений о молодом исследователе, научном руководителе и научной теме, выявляется предметная область интересов личности и некоторые ее психологические характеристики, влияющие на эффективность взаимодействия “ученик—научный руководитель”. При этом каждому новому участнику с учетом полученной информации выдается перечень наиболее близких ему по интересам участников МНИС и тематики ведущихся и предлагаемых исследований.

В режимах “Оцени уровень своих научных способностей” и “Оцени уровень выполненной науч-

ной работы” функционирует экспертная система, основанная на динамической математической модели развития научных способностей, которая позволяет не только индивидуально оценить их уровень по 36 позициям, но и сформировать рациональную, в методическом плане, стратегию их дальнейшего развития.

Режим “Формирование структуры исследовательской работы” генерирует, на основе результатов перечисленных ранее режимов, индивидуальный формат задания на выполнение очередного исследования, ориентирующий научного руководителя при конкретной постановке задачи молодому исследователю с максимальным учетом его возможностей и особенностей.

Режим “Мониторинг выполнения исследовательских работ” обеспечивает оперативное взаимодействие “руководитель—ученик” в процессе выполнения исследования и открытость его промежуточных результатов как для самих участников исследования (возможно, целого коллектива) так и для методического руководителя, курирующего учебно-исследовательский процесс в целом.

Существенно новым является режим “Поддержки научных дискуссий”, в основе которого лежит оригинальный метод оценки альтернатив и принятия решений в условиях неопределенности. Он позволяет формировать виртуальные коллективы для обсуждения дискуссионных проблем методом телеконференций и чатов, аргументируя при этом свои положения в слабо формализованной форме критериев “за” и “против”, обсуждение которых доступно всем участникам дискуссии. При этом непрерывно вычисляется количественный показатель достигнутой степени достоверности каждого из вынесенных на обсуждение положений, а также ведется доступный инициатору дискуссии психологический мониторинг ее хода с выдачей рекомендаций по наиболее эффективно-му ее ведению или завершению.

Оперативный и гласный контроль хода учебного процесса в организациях, использующих портал для этой цели, обеспечивает режим “Мониторинг учебной и внеучебной деятельности”. Его отличительная особенность, помимо отражения хода выполнения учебного графика каждым студентом, состоит в расчете комплексного рейтинга, учитывающего как учебные результаты, так и активность студента в различных других направлениях студенческой жизни (науке, искусстве, спорте и пр.).

2.5. Критерии эффективности

Критерии эффективности отражают степень полноты и качество решений отдельных задач МНИС. Объективность их измерения обеспечивается выполнением двух основных требований.

Первым из них является максимальное использование фактической информации, автоматически получаемой от портала МНИС. Для примера приведем критерии, характеризующие первую из задач МНИС — перенос достаточно весомой части деятельности научной молодежи в среду Интернет. Это:

- доля зарегистрированных членов МНИС от численности других надежно зарегистрированных категорий молодежи (выпускники школ — медалисты, выпускники вузов, получившие диплом с отличием, участники научных конференций и победители конкурсов исследовательских работ), косвенно связанных с научной деятельностью;

- среднее время пребывания членов МНИС на портале;

- доля функций исследовательской деятельности, охватываемая порталом, от общего числа выявленных функций;

- полнота реализации (степень поддержки) охватываемых порталом функций исследовательской деятельности;

- частота полноценного использования отдельных режимов портала.

Вторым критерием является использование обобщенной структуризации таких ключевых понятий, как предметная область научных исследований, критические направления науки и техники, научная квалификация. Если для двух первых понятий имеются достаточно известные классификаторы, то в отношении научной квалификации единое представление еще не сложилось [7]. Обобщая существующие подходы, мы предлагаем структурировать научную квалификацию на 36 элементов, определяемых двумя аспектами: функциями и уровнями исследовательской деятельности. При этом используются девять функций исследовательской деятельности (поиск тематики; постановка (формализация) темы исследования; формирование ключевой идеи (плана) решения; выбор, освоение и реализация необходимого обеспечения; реализация отдельных элементов исследования (элементов плана решения); синтез решения (собственно исследование); оформление решения; ввод в научный обиход, защита и сопровождение решения; внутренний критический анализ решения) и четыре уровня: начальный уровень (научный сотрудник), уровень задач (кандидат наук), уровень проблем (доктор наук) и уровень направлений (академик).

Подобная структуризация позволяет предложить опросники и систему критериев оценки выполненных исследовательских работ, которые обеспечивают измерение (конечно, приближенное) научной квалификации как структурно, так и в целом. На этой основе организуется мониторинг индивидуального развития молодых исследователей и качества МНИС в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как уже отмечалось, формирование телекоммуникационной среды поддержки инновационной деятельности является эволюционным процессом и идет в известной мере спонтанно сразу по многим направлениям. В то же время оно может быть существенно ускорено, если в информационной среде сформируется некий центр кристаллизации, на который смогут наслаиваться дальнейшие разработки. Таким центром может оказаться блок из трех взаимосвязанных порталов: студенческая наука — вузовская наука — заказы промышленности. Такой блок, реализованный на базе одного из вузов, на следующем этапе развития может быть тиражирован на другие вузы соответствующего профиля, а затем дополнен федеральным порталом, обеспечивающим взаимное использование и совместный анализ информации. Создание этого блока представляется актуальной задачей ближайшего будущего.

ЛИТЕРАТУРА

1. Федотов А. П. Глобалистика: начала науки о современном мире. — М.: Аспект Пресс, 2002. — 224 с.
2. Моисеев Н. Н. Алгоритмы развития. — М.: Наука, 1987. — 303 с.
3. Пиявский С. А. Вузовское молодежное интернет-сообщество // Вестник высшей школы. — 2003. — № 8. — С. 24—29.
4. Пиявский С. А. Математическое моделирование управляемого развития научных способностей // Известия Академии наук. Теория и системы управления. — 2000. — № 3. — С. 100—106.
5. Пиявский С. А. Управляемое развитие научных способностей молодежи. — М.: Академия наук о Земле, 2001. — 109 с.
6. Пиявский С. А. Коэволюция и научное сообщество в среде Интернет // Тр. Пятой всеросс. объедин. конф. "Технологии информационного общества — Интернет и современное общество" — СПб, 2002. — С. 119—123.
7. Майданов А. С. Процесс научного творчества. — М.: Наука, 1983. — 207 с.

E-mail: spiyav@mail.ru



МОДЕЛИ И МЕТОДЫ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

И. В. Буркова⁽¹⁾, А. В. Толстых⁽¹⁾, Б. К. Уандыков⁽²⁾

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

⁽²⁾ Республиканское казенное Восточно-Казахстанское предприятие водных путей, г. Усть-Каменогорск

Предложен подход к разработке программ обеспечения безопасности объектов на основе построения системы комплексного оценивания уровня безопасности. Даны постановка и решение задачи обеспечения требуемого значения комплексной оценки при минимальных затратах на соответствующие мероприятия.

ВВЕДЕНИЕ

При исследовании проблем обеспечения безопасности регионов понятие риска является одним из основных.

В ряде работ риск определяется как векторная величина, компонентами которой являются потери различного типа (экономические, социальные, экологические). Поэтому задачу управления риском следует рассматривать либо как задачу векторной оптимизации, либо как обычную задачу скалярной оптимизации, определив некоторую интегральную оценку риска. В данной работе мы выбираем второй путь. Интегральную оценку риска можно строить различными способами. Действительно, поскольку риск определяется двумя группами факторов — вектором вероятностей и вектором ущербов, то можно сначала провести интеграцию (свертку) по вероятностям каждого типа ущерба (например, определить математическое ожидание по каждому типу ущерба, т. е. ожидаемый ущерб), а затем построить интегральную оценку ожидаемых ущербов. Можно поступить наоборот, сначала построить интегральную оценку ущербов, а затем взять математическое ожидание этой интегральной оценки. Рассматриваемый ниже подход к задаче управления риском основан на первом варианте — в качестве интегральной оценки риска принимается интегральная оценка ожидаемых ущербов различных типов [1].

Предлагаемый в настоящей работе подход представляет собой попытку создать, хотя и приближенный, но достаточно универсальный инстру-

ментарий управления риском для любых типов объектов и чрезвычайных ситуаций (ЧС). В данной работе ставится следующая задача: необходимо определить набор мероприятий $\{x_i\}$, так изменяющий параметры объекта, чтобы риск (интегральная оценка риска) был не больше заданного, а стоимость всех мероприятий была минимальной.

1. ИНТЕГРАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РИСКА

При рассмотрении социальных, экономических и экологических сторон тяжелой аварии целесообразно оперировать понятиями прямого и косвенного ущербов. Под прямым ущербом в результате чрезвычайной ситуации будем понимать потери и убытки всех структур национальной экономики, попавших в зоны воздействия ЧС, и складывающиеся из невозвратных потерь основных фондов, оцененных природных ресурсов и убытков, вызванных этими потерями, а также затраты, связанные с ограничением развития и ликвидацией ЧС.

В состав затрат на ликвидацию последствий аварии включаются затраты на медицинское обслуживание, весь комплекс эвакуационных мероприятий, дезактивационные и дегазационные (при необходимости) работы, спасательные работы, строительство защитных сооружений, охрану оставленных объектов народного хозяйства и жилья, компенсационные выплаты отселяемым, строительство нового жилья эвакуированным, контроль за радиационной обстановкой и окружающей средой и другое, в зависимости от вида и масштабности ЧС.

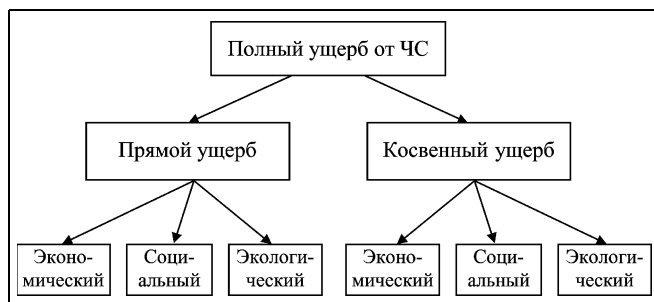


Рис. 1. Структура полного ущерба от ЧС

Объем затрат на ликвидацию последствий возможной тяжелой аварии зависит от конкретных географических, метеорологических, инфраструктурных, демографических и прочих особенностей района (или региона) в котором возникла ЧС. При определении этих затрат следует также учитывать вероятную динамику распространения различных вредных веществ или радиации и перемещения населения.

Косвенным ущербом от аварии будем называть потери, убытки и дополнительные затраты, которые понесут объекты народного хозяйства, не попавшие в зону прямого воздействия, и вызванные, в первую очередь, нарушениями и изменениями в сложившейся структуре хозяйственных связей, инфраструктуре.

К косвенному ущербу можно отнести и плохо поддающиеся стоимостной оценке отрицательные социальные эффекты, например, падение производительности труда оставшихся неотселенными работников, вызванное их угнетенным психическим состоянием. Прямой и косвенный ущерб в совокупности образуют полный ущерб (рис. 1).

Таким образом, мы описали структуру ущерба или риска в зависимости от того, в каком виде представлены исходные данные — в виде показателей ущерба либо ожидаемого ущерба (риска). Эта структура представляет собой дерево, начальная вершина которого соответствует интегральной оценке ущерба или риска, а висячие вершины различным типам ущербов (рисков). Для получения интегральной оценки ущерба или риска необходимо задать процедуры агрегирования (свертки) в каждой невисячей вершине дерева. Существуют различные процедуры агрегирования (линейные, аддитивные, мультипликативные, обобщенные аддитивные и др.). При агрегировании разнородных показателей (например, экономического, социального и экологического рисков) целесообразно применение так называемых матричных сверток, к рассмотрению которых мы переходим.

Предварительно необходимо привести значения показателей к дискретной шкале оценок. Каждое значение дискретной шкалы соответствует некоторой качественной характеристике риска или

ущерба (для определенности далее в качестве интегрального показателя будем рассматривать риск, а в качестве исходных показателей — ожидаемые ущербы по типам потерь, которые будем называть локальными рисками). Так, если шкала имеет три значения 1, 2 и 3, то естественно принять, что 1 соответствует низкому (незначительному) риску, 2 — среднему (ощутимому), а 3 — высокому (существенному). Очевидно, что каждому такому качественному значению локального риска соответствует вполне определенный интервал количественных значений соответствующих ожидаемых ущербов.

Методика формирования интегральной оценки риска основана на методологии формирования комплексных оценок, определяющей систему формальных и экспертных процедур [1]. Эта методология может быть применена для широкого класса задач оценивания. Суть ее состоит в следующем. Для оцениваемого объекта определяется набор параметров $\{a_i\}$. Для получения комплексной оценки параметры попарно сравниваются друг с другом при помощи матриц сверток, полученные характеристики в свою очередь опять попарно сравниваются между собой при помощи матриц сверток уже следующего уровня. Процедура повторяется до тех пор, пока не останется одна характеристика, которая и представляет собой комплексную оценку объекта.

Для реализации изложенной процедуры на всех уровнях необходимо определить пары характеристик, которые будут сравниваться, а также соответствующие им матрицы сверток. Кроме того, необходимо построить матрицы сверток таким образом, чтобы из определенных на самом низком уровне значений оценок можно было получить оценки всех характеристик на всех уровнях.

Достоинство бинарной структуры заключается в том, что она позволяет решать задачу комплексного оценивания по N критериям путем многошаговой процедуры агрегирования, причем на каждом шаге производится агрегирование только по двум критериям. Это упрощает задачу выбора правил агрегирования, поскольку соответствует реальным возможностям человека в выдаче непротиворечивой, устойчивой информации (гипотеза бинарности). Эта гипотеза утверждает, что человек устойчиво сравнивает и разбивает на классы объекты, отличающиеся оценками по двум критериальным свойствам.

Таким образом, при бинарной критериальной структуре возможно наиболее точное отражение стратегии лица, принимающего решение, или эксперта через процедуру свертки, и достаточно широкий класс комплексных критериев представим в виде бинарной структуры.

Рассмотренная схема является базовой при разработке процедур оценивания для реальных объектов и должна быть настроена с учетом специфи-



ки оцениваемых проектов, требований лица, принимающего решение, механизмов управления, в которых будут использованы полученные комплексные оценки.

Настройка процедуры оценивания (при сформированном дереве оценок и фиксированном наборе исходных показателей) включает в себя ряд задач, в том числе:

- выбор нормирующих преобразований;
- определение вида и параметров частных функций оценки;
- выбор оценочных шкал;
- выбор типа процедур агрегирования (свертки) и настройка их параметров;
- выбор методов перехода от непрерывных шкал к дискретным.

Таким образом, для определения интегрального риска строится бинарное дерево свертки, в котором каждая невисячая вершина представляет со-

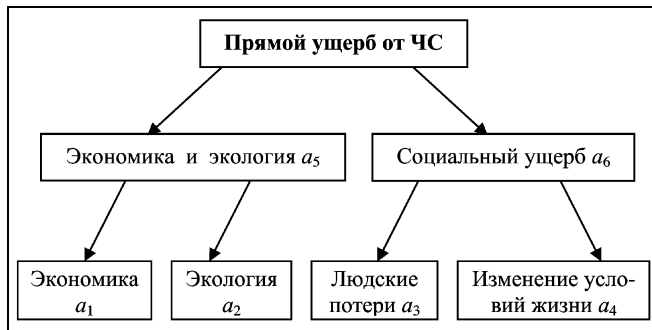


Рис 2. Бинарная структура дерева рисков (прямого ущерба)

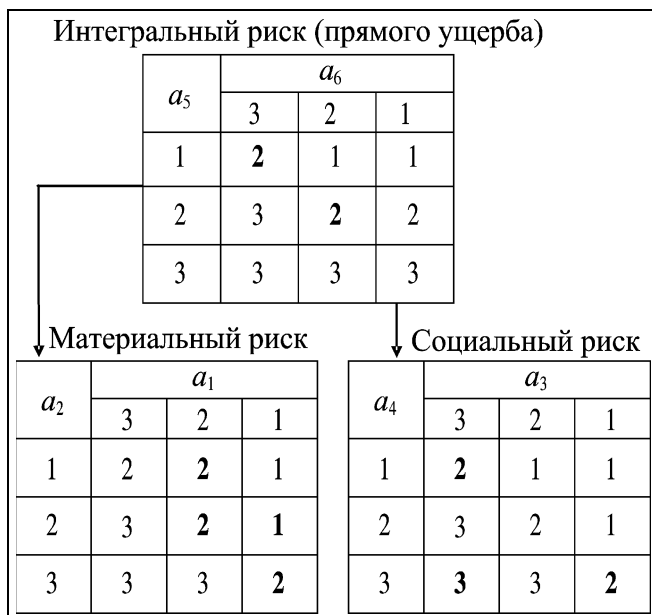


Рис. 3. Логические матрицы свертки

бой логическую матрицу свертки, аккумулирующую информацию из матриц предыдущего слоя.

Алгоритм определения интегральной оценки риска рассмотрим на примере фрагмента дерева рисков (рис. 2) со следующими исходными показателями локальных рисков: экономический риск a_1 , экологический риск a_2 , и два показателя социального риска — людские потери a_3 и изменение (ухудшение) условий жизни a_4 , а также обобщенные материальный a_5 и социальный a_6 риски.

Введем три логические матрицы свертки. Первая матрица дает обобщенную оценку экономического и экологического риска, которую мы назовем материальным риском. Вторая матрица дает обобщенную оценку локальных рисков людских потерь и ухудшения условий жизни, то есть оценку социального риска. Наконец, третья матрица дает оценку интегрального риска путем агрегирования обобщенных оценок материального и социального рисков (рис. 3).

Заметим, что логические матрицы свертки по сути дела определяют процедуру агрегирования локальных рисков в интегральную оценку риска и тем самым фиксируют приоритеты и политику руководства объекта по отношению к ущербам различного типа. Поэтому утверждение логических матриц свертки — ответственная процедура, выполняемая высшим руководством объекта.

Имея интегральную оценку риска, можно оценить любой вариант программы снижения риска (обеспечения безопасности объекта) и на основе этого выбрать оптимальный вариант.

2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОГРАММЫ ПО СТОИМОСТИ

Рассмотрим задачу снижения риска до требуемого уровня, определяемого значением интегральной оценки V_0 . Пусть имеется n возможных мероприятий по снижению уровня риска. Обозначим через a_{ij} — снижение ожидаемых потерь по направлению j путем проведения мероприятий i . Если проведено некоторое множество Q мероприятий, то общее снижение ожидаемых потерь по направлению j составляет

$$A_j(Q) = \sum_{i \in Q} a_{ij}.$$

Обозначим через B_{kj} снижение ожидаемых потерь по направлению j , минимально необходимое для того, чтобы локальная оценка риска по направлению j была равна k . Таким образом, если в программе снижения риска планируется обеспечить локальную оценку риска $k(j)$ по направлению $j = \overline{1, m}$, то набор мероприятий программы должен быть таким, чтобы выполнялись условия:

$$\sum_{i \in Q} a_{ij} = A_j(Q) \geq B_{k(j)}, \quad j = \overline{1, m}. \quad (1)$$

Обозначим через $R(V)$ множество Парето-оптимальных вариантов программы, обеспечивающих интегральную оценку V .

Постановка задачи. Определить вариант программы

$$\pi \in R(V), \pi = k(j), \quad j = \overline{1, m}$$

и множество мероприятий $Q(\pi)$, удовлетворяющих условиям (1) таких, чтобы затраты

$$C(V, \pi) = \sum_{i \in Q(\pi)} c_i \quad (2)$$

были минимальными.

Для решения задачи определим все Парето-оптимальные (напряженные) варианты программы. Алгоритм определения всех Парето-оптимальных вариантов основан на построении сети напряженных вариантов и описан в работе [1]. Дадим его иллюстрацию на примере логических матриц свертки (см. рис. 3).

1. Пусть $V = 1$. Начиная с верхней матрицы интегрального риска, определяем все Парето-оптимальные варианты обобщенных оценок материального и социального риска. Имеется всего один вариант (2; 1) (средний социальный риск и низкий материальный риск).

2. Переходим к матрице социального риска. Среднему значению социального риска соответствуют три варианта локальных рисков (людских потерь и изменения условий жизни). Это варианты (3; 1) — высокий риск людских потерь и низкий риск изменения условий жизни, (2; 2) — средний риск людских потерь и изменения условий жизни, и (1; 3) — низкий риск людских потерь и высокий риск изменения условий жизни.

3. Переходим к матрице материального риска. Имеется всего один Парето-оптимальный вариант (1; 2) — низкий риск экономических потерь и средний — экологических потерь.

Окончательно получаем три Парето-оптимальных варианта, обеспечивающих интегральную оценку $V = 1$:

$$\pi_1 = (1, 2, 3, 1); \pi_2 = (1, 2, 2, 2); \pi_3 = (1, 2, 1, 3).$$

Как правило, число вариантов множества $R(V)$ невелико. Поэтому предлагается решать задачу методом перебора всех вариантов $R(V)$. При заданном варианте $\pi \in R(V)$ задача (1) и (2) сводится к задаче целочисленного линейного программирования. Рассмотрим ее решение методом дихотомического программирования [2].

3. МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ

Обозначим $x_i = 1$, если мероприятие i вошло в программу, $x_i = 0$ — в противном случае. Тогда для рассматриваемого варианта π получаем следующую

задачу: определить значения $x = \{x_i\}$, минимизирующие величину

$$\sum_i c_i x_i \quad (3)$$

при ограничениях

$$\sum_i a_{ij} x_i \geq B_j, \quad j = \overline{1, m}. \quad (4)$$

Следуя методу дихотомического программирования, построим оценочную задачу. Для этого определим $s_{ij} \geq 0$ такие, что

$$\sum_j s_{ij} = c_i, \quad i = \overline{1, n}, \quad (5)$$

и рассмотрим m задач о ранце следующего вида: минимизировать $F(x) = \sum_i s_{ij} x_i$ при одном из ограничений (4). Как известно [2], величина

$$\Phi(s) = \sum_j \Phi_j(s_j), \quad (6)$$

где $\Phi_j(s_j)$ — значение $F(x)$ в оптимальном решении j -й задачи о ранце, является оценкой снизу для исходной задачи (3) и (4). Имея метод получения нижних оценок, можно применить метод ветвей и границ.

Улучшение оценки сводится к решению задачи максимизации величины (6) при ограничениях (5). Эта задача в работе [2] названа двойственной задачей целочисленного линейного программирования. К сожалению, решение двойственной задачи довольно трудоемкое. Решение большого числа примеров привело к ряду простых эвристических правил выбора s_{ij} . Приведем одно из них.

Выберем одно из ограничений, например, первое. Положим $s_{ij} = y_j a_{ij}$ для всех $i = \overline{1, n}, j = \overline{2, m}$ так, чтобы

$$\sum_{j=2}^m y_j a_{ij} \leq c_i, \quad i = \overline{1, n}.$$

Положим

$$s_{i1} = c_i - \sum_{j=2}^m y_j a_{ij} \geq 0. \quad (7)$$

Рассматриваем только одну первую задачу о ранце, полагая оценки для остальных задач равными $y_j B_j$. Нижняя оценка при этом

$$\Phi = \Phi_1(s_1) + \sum_{j=2}^m y_j B_j \quad (8)$$

Смысл этого правила в том, что при $s_{ij} = y_j a_{ij}$ для всех $i, j \geq 2$ все мероприятия с точки зрения j -го направления ($j \geq 2$) становятся равноценными (удельные затраты $s_{ij}/a_{ij} = y_j$ для любого мероприя-



тия), что позволяет сконцентрировать внимание на первом направлении.

Интересно отметить, что задача максимизации составляющей $\sum_{j=2}^m y_j B_j$ оценки (8) при ограничении (7) является обычной двойственной задачей для исходной задачи (3) и (4) без первого ограничения.

Пример. Рассмотрим один из Парето-оптимальных вариантов, например $\pi_1 = (1, 2, 3, 1)$. Примем $B_1 = 50$, $B_2 = 15$, $B_3 = 6$, $B_4 = 60$, $n = 6$. Значения a_{ij} и c_i приведены в таблице.

Возьмем четвертое направление в качестве основного и положим $y_1 = 3$, $y_2 = y_3 = 0$, $\sum_{j=1}^3 y_j B_j = 150$.

Получаем следующую задачу о ранце для четвертого направления — минимизировать величину

$$35x_1 + 35x_2 + 22x_3 + 0x_4 + 8x_5 + 10x_6$$

при ограничении

$$20x_1 + 8x_2 + 12x_3 + 16x_4 + 24x_5 + 14x_6 \geq 60. \quad (9)$$

Ее решение $x_3 = x_4 = x_5 = x_6 = 1$; $x_1 = x_2 = 0$; $\Phi_4 = 40$. Оценка снизу исходной задачи (3) и (4) $\Phi = 40 + 150 = 190$. Применим метод ветвей и границ.

1 шаг. Разобьем множество всех решений на два подмножества. В одном $x_2 = 1$, во втором $x_2 = 0$.

Оценка первого подмножества. Решение задачи о ранце имеет вид $x_2 = x_4 = x_5 = x_6 = 1$; $x_1 = x_3 = 0$; $\Phi_4 = 53$, $\Phi = 53 + 150 = 203$.

Оценка второго подмножества осталась прежней: $\Phi = 190$.

Выбираем второе подмножество.

2 шаг. Разбиваем второе подмножество на два подмножества. В одном $x_1 = 1$, во втором $x_1 = 0$.

Оценка первого подмножества. Оптимальное решение задачи о ранце при $x_2 = 0$, $x_1 = 1$ имеет вид:

$$x_1 = x_4 = x_5 = 1; x_2 = x_3 = x_6 = 0; \Phi_4 = 43.$$

Заметим теперь, что это решение является оптимальным и для первой задачи (если $x_2 = 0$, $x_1 = 1$) со значением целевой функции $\Phi_1 = 153$. Очевидно, что оно оптимально для второй и третьей задач. Поэтому оно является оптимальным решением исходной задачи на подмножестве $x_1 = 1$, $x_2 = 0$. Значение целевой функции $C = 43 + 153 = 196$.

i	1	2	3	4	5	6
a_{i1}	12	15	18	23	16	10
a_{i2}	11	15	18	21	13	6
a_{i3}	4	20	10	12	3	15
a_{i4}	20	8	12	16	24	14
c_i	71	80	76	69	56	40

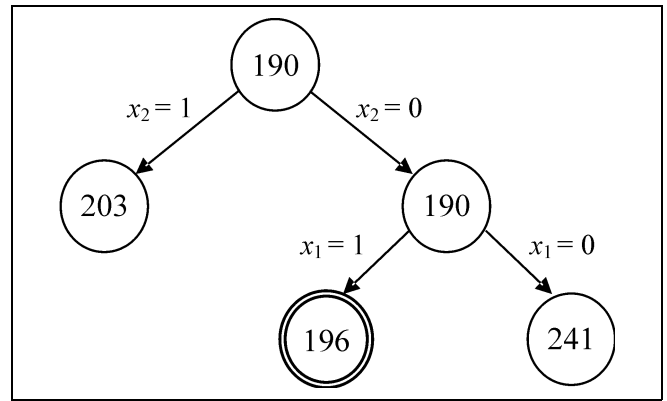


Рис. 4. Дерево ветвлений

Оценка второго подмножества. Заметим, что неравенство (9) в случае $x_1 = x_2 = 0$ имеет единственное решение: $x_3 = x_4 = x_5 = x_6 = 1$. При этом первые три неравенства (соответствующие трем первым направлениям) выполняются. Поэтому

$$\Phi = \sum_{i=3}^6 c_i = 241.$$

Выбираем первое подмножество. Дерево ветвлений приведено на рис. 4.

Полученное решение $x_1 = x_4 = x_5 = 1$, $x_2 = x_3 = x_6 = 0$ является оптимальным, поскольку нижние оценки всех остальных подмножеств больше 196.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный подход позволяет эффективно решать задачи формирования не только программ снижения рисков, но и любых программ, оцениваемых по нескольким критериям (программы регионального развития, программы реформирования предприятий и др.). Описанная модель и метод оптимизации применены при разработке мероприятий по обеспечению безопасности гидротехнических сооружений и при создании системы снижения риска при уничтожении химического оружия. Работы ведутся в рамках Федеральной программы "Безопасность".

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурков В. Н., Щепкин А. В. Экологическая безопасность. — М.: Ин-т проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2003.
2. Бурков В. Н., Буркова И. В. Задачи дихотомической оптимизации. — Матер. Междунар. конференции "Системные проблемы качества, математического моделирования, информационных и электронных технологий". — М.: Радио и связь, 2003.

☎ (095) 334-90-51

E-mail: irbur27@mail.ru



КОМПЬЮТЕРНЫЙ ТРЕНАЖЁРНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ ПЕРСОНАЛА ЦЕНТРАЛЬНОГО ПУЛЬТА УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТА УНИЧТОЖЕНИЯ ХИМИЧЕСКОГО ОРУЖИЯ

А. Ю. Уткин⁽¹⁾, В. Г. Лебедев⁽²⁾, Н. А. Костикова⁽¹⁾,
Е. Л. Кулида⁽²⁾, Д. Б. Рождественский⁽²⁾

⁽¹⁾ Государственный научно-исследовательский институт органической химии и технологии, г. Москва;

⁽²⁾ Институт проблем управления им. В. А. Трапезникова, г. Москва

Рассмотрены принципы построения компьютерного тренажёрного комплекса для обучения операторов объекта уничтожения химического оружия и функциональные особенности модулей программного обеспечения.

ВВЕДЕНИЕ

Российская Федерация выполняет взятые на себя международные обязательства в соответствии с Конвенцией о запрещении разработки, производства, накопления и применения химического оружия и его уничтожении. Объекты уничтожения химического оружия (УХО) относятся к высокотоксичным, пожаро- и взрывоопасным. Основные опасности производства, обусловленные особенностями технологического процесса, применяемого оборудования и условиями его эксплуатации, кроются в возможностях:

- поражения людей высокотоксичными и токсичными веществами, которые обращаются в производстве;
- образования взрывоопасных концентраций веществ, образующихся в процессе детоксикации химического оружия;
- получения химических и термических ожогов в связи с наличием в производстве агрессивных жидкостей и теплоносителей с высокой температурой.

Безопасность технологического процесса обеспечивается реализацией на объекте УХО таких систем, как АСУТП, противоаварийной защиты, блокировок и сигнализаций (световой и звуковой),

общеобменной и аварийной вентиляции. Кроме того, на объектах УХО предусматриваются мероприятия по обеспечению пожаро- и взрывобезопасности ведения технологического процесса (организация системы азотного дыхания для снижения взрывоопасности потока абгазов, заземление технологического оборудования для предотвращения накопления статического электрического заряда, автоматическое углекислотное пожаротушение слоя активированного угля адсорбционных колонн и фильтров системы очистки абгазов, применение агрегатов в герметичном, пожаро- и взрывобезопасном исполнении).

Аварийные ситуации на объекте УХО могут возникнуть при нарушениях регламента ведения процессов транспортировки, извлечения из тары и детоксикации отравляющих веществ, а также при нарушениях герметизации оборудования и коммуникаций во время ремонтных и дегазационных работ. Для предотвращения поступления вредных ингредиентов в атмосферный воздух в случае аварийных ситуаций предусматриваются меры, обеспечивающие безопасность ведения процесса, снижение выделения выбросов и предотвращение залповых выбросов.

Потенциальная опасность технологического объекта, сложность программно-аппаратного обеспечения систем управления технологическими про-



цессами УХО и ответственность за принимаемые решения создают значительные трудности в работе технологического и оперативного персонала и предъявляет исключительно высокие требования к уровню его подготовки.

1. ОСОБЕННОСТИ КОМПЬЮТЕРНОГО ТРЕНАЖЕРНОГО КОМПЛЕКСА

Для объекта УХО, расположенного в районе пос. Горный Саратовской области, создан компьютерный тренажёрный комплекс (КТК), предназначенный для обеспечения компьютерного тренинга оперативного персонала, работающего с основными подсистемами АСУТП объекта УХО, для выработки у него навыков безопасного и эффективного управления технологическими процессами путём воссоздания и анализа ситуаций, которые могут возникнуть как в штатном режиме, так и при неполадках и аварийных ситуациях.

В основу КТК положена специально разработанная методология обучения оперативного персонала управления технологическими процессами УХО с помощью компьютерных тренажёров. В его состав входят динамические модели процессов, обеспечивающие адекватную реакцию моделируемого объекта на произвольные вмешательства участников тренинга.

В КТК реализованы:

- имитация рабочих мест оперативного персонала центрального пульта управления объекта УХО;
- различные режимы функционирования КТК (режимы консультации обучаемых, приобретения знаний, взаимодействия с инструктором, проверки и оценки знаний обучаемых, создания тренировочных упражнений и др.);
- динамические модели процессов в химическом реакторе и модели основных технологических узлов и агрегатов;
- различные режимы работы обучаемых: общий (все обучаемые работают с общей моделью), индивидуальный (каждый обучаемый работает со своей моделью), групповой (участники группы совместно работают с одной моделью);
- различные режимы работы технологического оборудования (подготовка технологического узла к пуску, пусковые операции, штатная работа, контроль и регулирование узла во время работы, останов, аварийные ситуации);
- система поддержки инструктора, обеспечивающая автоматизацию составления сценарных алгоритмов тренинга, задания внутренних и внешних возмущений, взаимодействие с одним или несколькими обучаемыми, автоматический контроль за правильностью выполнения зада-

ний с учётом отведённого интервала времени, автоматическую оценку знаний обучаемых по результатам выполнения тренировочных упражнений и тестовых вопросов и др.;

- полное протоколирование работы обучаемых, что позволяет воспроизвести любой сеанс работы КТК;
- возможность изменения масштаба времени (реальное время, ускорение медленных и замедление быстропротекающих процессов).

Основные технические средства КТК включают в себя объединённые посредством высокоскоростной локальной вычислительной сети типа Fast Ethernet, автоматизированное рабочее место (АРМ) инструктора, который управляет процессом обучения, группу АРМ обучаемых и сервер.

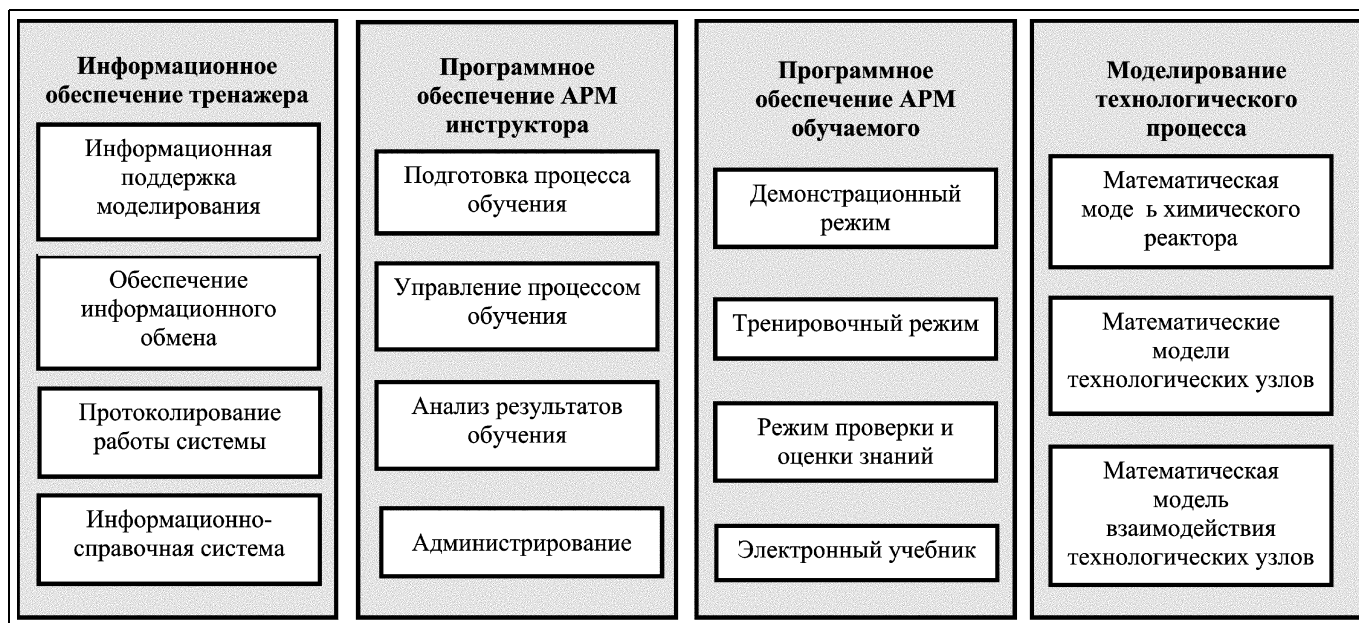
Функциональное назначение сервера — информационное обеспечение КТК, моделирование технологического процесса и обеспечение обмена информацией между сервером и автоматизированными рабочими местами на основе архитектуры “клиент—сервер”. Функциональное назначение автоматизированных рабочих мест — обеспечение подготовки и проведения процесса обучения, проверки и оценки знаний и анализа процесса обучения.

2. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

На рисунке представлена обобщённая структура программного обеспечения, позволяющего обеспечить эффективную реализацию основных функциональных возможностей КТК и максимальную независимость при разработке, отладке и выборе инструментальных средств для реализации основных компонентов комплекса.

Основой структуры программного обеспечения КТК служит информационное ядро, через которое происходит обмен информацией между компонентами программного обеспечения, реализующими моделирование технологического процесса, и приложениями, реализующими программное обеспечение АРМ. Особенность такой структуры заключается в том, что непосредственный обмен информацией, минуя информационное ядро, между программными моделями и интерфейсом пользователей отсутствует.

Для реализации информационного ядра КТК в качестве инструментального средства выбрана система управления базами данных (СУБД) Microsoft SQL Server 2000, позволяющая надёжно хранить информацию в базах данных (БД) на сервере и эффективно управлять ею. Разработанная специально для управления централизованными базами данных, основанная на технологии клиент —



Структура программного обеспечения компьютерного тренажерного комплекса для объекта уничтожения химического оружия

сервер, СУБД Microsoft SQL Server гарантирует защиту от таких проблем, как попытки нескольких пользователей одновременно модифицировать данные, и эффективно распределяет среди пользователей доступные ресурсы, такие как память, сетевая пропускная способность и др.

Программное обеспечение АРМ отображает протекание технологического процесса на экранах пользователей на основе считываемой из БД информации о состояниях активных элементов мнемосхем и параметрах технологического процесса и заносит в БД информацию о действиях пользователей (команды пользователей). На сервере работает интерпретатор команд пользователей, который считывает команды пользователей из БД и интерпретирует их. Поскольку отображение протекания технологического процесса полностью основано на информации, хранящейся в БД, то интерпретация команд пользователей заключается в преобразовании команд пользователей в другое представление, являющееся входной информацией для программного обеспечения АРМ.

Разработанный интерпретатор команд пользователей может работать в реальном времени, ожидая записи очередной команды и выполняя ее, или интерпретировать команды, ранее занесенные в БД, что позволяет воспроизводить любой ранее выполненный сеанс работы, информация о котором хранится в БД.

Моделирование технологического процесса реализуется *программными моделями*, выполняемыми

на сервере. Программная модель моделирует технологический процесс с учетом состояний активных элементов схем, занесенных в БД в результате действий пользователей.

Программная модель моделирует изменения технологических параметров и заносит полученные значения в БД. Запуск программных моделей осуществляется в зависимости от задач процесса обучения. Обучаемые могут работать совместно с одной программной моделью или индивидуально с разными программными моделями в зависимости от целей процесса обучения.

Команды пользователей передаются программным моделям не непосредственно, а через таблицы БД. В этом случае работа пользователей на КТК полностью протоколируется, что особенно важно при подготовке персонала для объектов повышенной опасности. При таком подходе одну и ту же программную модель можно применять как при реальной работе пользователей, так и для воспроизведения любого прошедшего сеанса работы на КТК.

Технологические параметры процесса поступают на экраны пользователей не непосредственно от программных моделей, а считываются из БД. Это позволяет легко переключать программное обеспечение АРМ обучаемых на работу с разными программными моделями, реализовывать различные режимы обучения, переключать программное обеспечение АРМ инструктора для работы с разными обучаемыми или группами обучаемых.



Описанный подход позволяет легко реализовать режим совместного управления технологическим процессом несколькими обучаемыми с разных рабочих мест, что соответствует реальной работе оперативного персонала на объектах повышенной опасности.

Выбранная структура программного обеспечения КТК позволила решить две важные задачи: обеспечение независимости при разработке наиболее трудоемких компонентов программного обеспечения и повышение эффективности его функционирования. Поскольку интерфейс между программными компонентами реализуется через БД, то после разработки структуры таблиц БД эти компоненты можно разрабатывать и отлаживать независимо. Для их разработки можно независимо выбирать удобные инструментальные средства, поскольку большинство современных инструментальных средств позволяет приложениям обращаться к реляционному ядру БД с помощью языка структурированных запросов (Structured Query Language — SQL) и интерфейсов доступа к данным для Windows: Microsoft ActiveX Data Object (ADO), OLE DB или Open Database Connectivity (ODBC).

3. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО ИНСТРУКТОРА

Основная задача инструктора состоит в качественном обучении оперативного персонала. Его АРМ обеспечивает подготовку процесса обучения, управление процессом обучения, анализ результатов обучения и администрирование процесса обучения.

Подготовка процесса обучения включает в себя разработку тренировочных упражнений, создание сценариев обучения и ввод контрольных параметров.

Управление процессом обучения заключается в запуске моделей, управлении ими, вмешательстве инструктора в ход моделируемого процесса с целью создания непредвиденных для обучаемого ситуаций, моделировании неисправностей в работе оборудования и аварийных ситуаций.

При анализе результатов обучения инструктор просматривает информацию о работе обучаемых над различными упражнениями в виде графиков и диаграмм. При необходимости инструктор может воспроизводить прошлые сеансы обучения и настраивать систему автоматической оценки выполнения упражнений выбором коэффициентов, хранящихся в БД.

Инструктор может назначать отдельным обучаемым или группам обучаемых работу с одной из работающих моделей по определенному сценарию.

Он может видеть на своем мониторе происходящее на любом из мониторов обучаемых и при необходимости вмешиваться в работу любого из них.

Базовая система знаний, ориентированная на инструктора, состоит из четырех основных групп источников знаний:

- о решаемых обучаемыми задачах;
- о процессе решения задачи;
- о модели технологического процесса;
- об обучаемых.

Опыт, приобретаемый инструктором в процессе компьютерного тренинга, накапливается и реализуется во вновь создаваемых упражнениях для обучаемых с помощью разработанных и встроенных в КТК инструментальных средств.

4. АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ РАБОЧЕЕ МЕСТО ОБУЧАЕМОГО

Человеко-машинное взаимодействие обучаемого с КТК реализуется путем создания на АРМ обучаемого имитации среды управления технологическим процессом объекта УХО, т. е. эмуляции операторского интерфейса центрального пульта управления. Обучение осуществляется на основе модели технологического процесса УХО и моделей типовых агрегатов.

Функциональные возможности АРМ обучаемого:

- запуск тренировочных упражнений и тестовых вопросов для самообучения оперативного персонала;
- представление обучаемому информации о ходе моделируемого процесса;
- взаимосвязь работы всех узлов и агрегатов моделируемого процесса;
- управление моделируемым процессом, операциями, отдельными узлами, элементами технологического оборудования посредством воздействия на активные элементы мнемосхем;
- сигнализация о нарушениях хода моделируемого процесса;
- регистрация технологических параметров и их отклонений от регламентных норм;
- работа с информационно-справочной системой и др.

Отработка действий при моделировании аварийных ситуаций выполняется в три стадии: обнаружение события; диагностирование причин, вызвавших событие; компенсация нежелательных последствий события.

Стадия обнаружения события включает в себя выявление отклонений от заданного режима, выхода параметров за диапазон пороговых значений, срабатывания технологических блокировок.

Стадия диагностирования причин, вызвавших событие, заключается в идентификации типа неисправности и определении неисправных элементов (например, дискретного клапана, заслонки, насоса и т. п.).

Стадия компенсации последствий события предполагает, в частности, выполнение обучаемым действий, связанных с вмешательством в ход моделируемого процесса с учётом целей тренинга.

В основу информационно-справочной системы положена нелинейная организация информационных единиц, гибкая форма управления этими единицами в гипертекстовой системе. Гипертекстовая информационно-справочная система позволяет оперативно получить необходимую информацию о нормативных документах, об объекте УХО, о свойствах веществ, участвующих в процессе, технологическую информацию и информацию, связанную с вопросами безопасности на производстве, быстро принимать эффективные решения, требующие учёта огромного числа факторов.

5. МОДЕЛИРОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО РЕАКТОРА

В состав КТК входят математические модели различных агрегатов и технологических узлов. В качестве примера рассмотрим модель основного из них — химического реактора гидролиза люизита. Его математическая модель формируется на основе двух фундаментальных физических законов: закона сохранения массы и закона сохранения энергии. В нашем случае рассматривается реактор периодического действия, идеального смешения с изменяющейся реакционной массой.

Закон сохранения массы выражается в виде дифференциального уравнения первого порядка, интегральная кривая которого определяет кинетическую кривую реакции гидролиза люизита:

$$\frac{dC(t)}{dt} = -\frac{C(t)Q\rho^{-1}}{V_0 + Q\rho^{-1}t} + \frac{Q}{V_0 + Q\rho^{-1}t} + R_p,$$

где $C(t)$ — концентрация реагента; Q — скорость поступления реагента или количество реагента, вступающего в реакцию за единицу времени; R_p — суммарная скорость расхода реагента; V_0 — начальный объем реакционной массы (объем раствора щелочи); ρ — плотность реагента; t — время.

Для случая одной простой реакции $R_p = C(t)K_0 \times \exp[-E/(RT)]$. Это выражение получено из уравнения Аррениуса, которое устанавливает зависимость константы скорости реакции k от абсолютной температуры T : $k = K_0 \exp[-E/(RT)]$, где K_0 — предэкспоненциальный множитель; E — энергия

активации реакции, R — универсальная газовая постоянная.

Уравнение энергетического баланса имеет вид:

$$\frac{dT(t)}{dt} = \frac{\Delta q R}{\rho C_1} - \frac{K_T S (T(t) - T_x(t))}{C_1(m_0 + Qt)} - \frac{Q}{m_0 + Qt} T(t),$$

где C_1 и $T(t)$ — удельная теплоемкость и температура реакционной массы; m_0 — начальная реакционная масса; $T_x(t)$ — температура хладагента; K_T — коэффициент теплопередачи; S — площадь поверхности теплообмена рубашки реактора; Δq — тепловой эффект реакции.

Уточнение математической модели заключается в изменении соответствующих параметров и коэффициентов на основе данных, получаемых на реальном реакторе. К ним относятся коэффициент теплопередачи, площадь поверхности теплообмена рубашки реактора, а также параметры химических реакций (предэкспоненциальный множитель и энергия активации реакции).

Представленные ранее уравнения позволяют смоделировать операции подачи раствора щелочи, люизита, разогретого пара, хладагента. Кроме того, на базе этих же уравнений можно получить схему выхода ацетилена, а добавив уравнения паробразования и “азотного дыхания”, смоделировать состояние газовой среды реактора. Все переменные обобщенной модели могут быть выведены на виртуальные индикаторы, которые полностью отображают шкалы реальных контрольных приборов. Построенный таким образом КТК позволяет отобразить не только рабочую панель управления технологического процесса гидролиза люизита, но и адекватно имитирует все реальные процессы, протекающие в реакторе. Анализируя работу реального реактора и модели, можно найти различие только в характеристиках инерционности. Реакция КТК на внешние возмущения несколько опережает показания приборов реальной установки при тех же возмущениях. Это связано с тем, что в КТК принята модель химического реактора идеального смешения. По нашим оценкам время опережения не превышает нескольких секунд.

Так как модель химического реактора строилась для случая изменяющейся реакционной массы, то в дифференциальные уравнения входят изменяющиеся во времени параметры. Их решения имеют области неустойчивости, характеристики которых можно найти путем исследования этих уравнений. Для реальных реакторов эти сведения важны для определения устойчивого рабочего режима. В принципе, методы моделирования, применяемые для разработки КТК, могут быть полезны как при выборе оптимального режима работы реактора, так и



при его конструировании. С помощью разработанной модели можно наблюдать за поведением реагентов и продуктов гидролиза (например, люизита и ацетилена) в процессе протекания реакции, что невозможно на реальном реакторе. При необходимости модель можно настроить до такой степени точности, что она сможет служить источником дополнительной информации в реальных установках.

Исследования модели показали, что она обладает широким динамическим диапазоном с высоким уровнем адекватности реальным процессам. Такие свойства модели позволяют воссоздавать практически любые ситуации, которые возможны на реальном объекте, в том числе и имитировать аварийные ситуации. С помощью разработанной модели можно обучать методам ручного управления процессом, в том числе и в критических ситуациях, например, отключить систему охлаждения, понизить температуру нагретого пара и др. Обучение осуществляется на основе контроля показаний соответствующих приборов — индикаторов веса, давления, температуры, динамики концентрации люизита.

Для моделирования технологических процессов в КТК применялся, в частности, программный пакет LabVIEW, разработанный известной фирмой "National Instruments" (США) и представляю-

щий собой систему графического программирования. От своих конкурентов, также пользующихся в качестве командных графическими языками, пакет LabVIEW отличается наличием мощной математической библиотеки, что позволяет применять его для моделирования сложных физических процессов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Созданный и успешно прошедший государственные испытания компьютерный тренажерный комплекс является эффективным средством подготовки оперативного персонала управления технологическими процессами объектов уничтожения химического оружия и их аттестации. Он позволяет отработать действия обучаемых в штатных и экстремальных ситуациях на программных моделях, восстановить профессиональные навыки и знания в условиях вахтового метода обслуживания производств, выполнить автоматический анализ действий обучаемых и оценить их профессиональную пригодность к работе по управлению технологическими процессами объектов уничтожения химического оружия.

☎ (095) 273-87-36

E-mail: valya@ipu.rssi.ru



XIII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

"ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТЬЮ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ"

(Москва, декабрь 2005 г.)

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

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

Заявки на участие в конференции принимаются по адресу:
117997 Москва, ГСП-7, Профсоюзная ул., 65, Институт проблем управления, лаб. 20,
Оргкомитет международной конференции; тел. (095) 334-89-59, e-mail: Conf20@ipu.rssi.ru

Материалы представляются на дискете плюс 1 экз. в распечатанном виде (2 - 4 стр.). На этикетке дискеты указать ф.и.о. авторов и имя файла, названного по фамилии первого автора; или высылаются по электронной почте. В графе "Тема" укажите – Конференция. Необходимо сообщить сведения об авторах: фамилию, имя, отчество автора(ов); должность, ученое звание; место работы (полное название и аббревиатура); почтовый адрес для переписки (обязательно указать индекс) и(или) e-mail; номер телефона для связи.

Требования по оформлению. Материалы должны быть представлены в редакторе Word, версии не ниже 6.0; формат A4, заполняемый текстом 115×165 мм (параметры страницы: верхнее поле – 2,5 см; нижнее – 10,7 см; левое – 4,7 см; правое – 4,8 см). Шрифт – Times New Roman, 10 пунктов через 1 интервал, красная строка – 0,5 см, страницы не нумеруются. Библиографические ссылки в тексте даются в квадратных скобках, рисунки должны допускать возможность масштабирования.

ФИНАНСОВАЯ СОСТАВЛЯЮЩАЯ СТРАТЕГИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

А. В. Кучерявый, Н. В. Лясников, В. В. Шеметов

Российская академия предпринимательства, г. Москва

Проблеме финансовой устойчивости предприятия посвящена обширная литература, поэтому мы сосредоточимся на рассмотрении динамики переходных процессов и их роли в достижении финансовой устойчивости как одной из составляющих стратегической устойчивости компании. Финансовая устойчивость означает способность фирмы сохранять устойчивую структуру активов как в ходе текущих операций, так и на всех этапах ее развития. Особую опасность представляет резкое изменение организационной структуры фирмы при слияниях, поглощениях, объединениях с другими фирмами, при которых нарушается ее эволюционное развитие и происходит скачкообразное изменение ее характеристик. Известно, что скачкообразное изменение свойств управляемого объекта всегда сопровождается переходными процессами различной интенсивности, зачастую имеющими колебательный характер и затрагивающими разные области деятельности фирмы. Эти процессы взаимодействуют друг с другом, и в случае их резонансного сложения могут вызвать значительные отклонения параметров управляемого объекта от равновесного состояния, что может закончиться его разрушением.

Устойчивость структуры активов мы понимаем в статистическом смысле [1], т. е. как редкость (малую вероятность) существенных отклонений параметров активов компании от эффективной структуры, обеспечивающей разумное соотношение между ликвидностью, рентабельностью и уровнем риска для активов в каждый момент времени. Известно, что банкротство, как предельный случай утраты устойчивости фирмы, наступает вследствие кризиса ликвидности активов, при котором фирма испытывает трудности с наличными деньгами и не в состоянии погасить свои финансовые обязательства в течение трех месяцев со дня на-

ступления сроков платежа по обязательствам. Если сумма долга превышает пороговую сумму (100 тыс. руб.), Закон о банкротстве позволяет возбудить против фирмы дело о банкротстве в арбитражном суде, что де-факто означает признание неэффективности управления [2].

Для характеристики финансовой стабильности фирмы наиболее часто употребляются коэффициенты (показатели) финансовой устойчивости, деловой активности, рентабельности, коэффициенты, отражающие положение предприятия на рынке, и коэффициенты, характеризующие эффективность персонала предприятия [3].

В свою очередь, в группе *коэффициентов финансовой устойчивости (стабильности)* выделяют коэффициенты, характеризующие ликвидность активов, и коэффициенты долгосрочной платежеспособности. Коэффициенты ликвидности активов характеризуют способность предприятия оплачивать в предусмотренные законом и контрактом сроки предъявляемые ему счета. Все показатели этой группы связаны с оборотными средствами предприятия или их составной частью, так как краткосрочные заимствования оплачиваются именно из этой структурной части активов. Наиболее употребительны среди них коэффициенты покрытия, текущей ликвидности, оборачиваемости по расчетам и оборачиваемости материальных запасов.

Долговременная устойчивость финансов предприятия характеризуется набором коэффициентов, отражающих степень подверженности его финансовой политики воздействию со стороны внешних инвесторов, их способность повлиять на долговременные планы предприятия. В этот набор входят коэффициенты соотношения собственных и заемных средств, коэффициент концентрации собственного капитала и сопряженный с ним коэффициент финансовой зависимости (сумма ко-



эффектанта концентрации собственного капитала и коэффициентанта финансовой зависимости равна единице). Коэффициент концентрации собственного капитала определяется как отношение собственных средств предприятия к общей сумме средств, авансированных в его деятельность (собственных плюс заемных). Распространено мнение, что оптимальное значение этого показателя должно быть не ниже 0,6, однако очевидно, что оно зависит от состояния экономики (чем экономика менее устойчива, тем выше должно быть значение коэффициентанта) и вида хозяйственной деятельности, которая определяет скорость движения оборотных средств (чем скорость выше, тем меньше может быть его значение).

Коэффициенты деловой активности показывают степень эффективности использования предприятием его средств. К этой группе относят различные показатели оборачиваемости, характеризующие скорость превращения средств предприятия в денежную форму, его производственно-технический и маркетинговый потенциалы. Наиболее часто применяются следующие показатели: коэффициент оборачиваемости активов, коэффициент оборачиваемости дебиторской и кредиторской задолженности и коэффициент оборачиваемости материальных и производственных запасов.

Коэффициенты рентабельности характеризуют прибыльность деятельности предприятия. Наиболее часто в этой группе коэффициентов пользуются коэффициентом рентабельности активов предприятия, коэффициентом рентабельности реализации продукции и коэффициентом рентабельности собственного капитала. *Коэффициент рентабельности активов предприятия* вычисляется как отношение чистой прибыли к среднегодовой стоимости всех активов предприятия и показывает, сколько денежных единиц (независимо от их происхождения) потребовалось предприятию для получения каждой единицы прибыли. Этот коэффициент является наиболее важным индикатором экономической эффективности предприятия, который в значительной мере определяет эффективность управленческого труда команды менеджеров предприятия. Кроме того, коэффициент рентабельности активов предприятия в сравнении со среднеотраслевым значением этого коэффициентанта непосредственно отражает его текущую конкурентоспособность.

Группа *коэффициентов, отражающих положение предприятия на рынке*, основывается на оценке рыночной стоимости его акций. Рыночная стоимость акции характеризует оценку вкладчиками как потенциальных прибылей предприятия, так и инвестиционных рисков. Более полную информа-

цию о положении компании можно получить, если проанализировать динамику рыночной стоимости ее акций во взаимосвязи с прибылью, приходящуюся на одну акцию, дивидендами, выплачиваемыми по акциям, а также ценами на акции других предприятий отрасли. Весьма важным показателем, отражающим отношение собственников к перспективам развития бизнеса, а также отношения между собственниками и менеджментом предприятия, является *коэффициент выплаты дивидендов*.

Этот коэффициент рассчитывается как дивиденд на одну акцию, отнесенный к размеру чистой прибыли на одну акцию, и показывает, какая часть чистой прибыли направлялась на выплату дивидендов. Выбор оптимального значения этого коэффициентанта представляет весьма сложную задачу, которую к тому же необходимо решать в динамике, поскольку ее решение зависит от непрерывно меняющихся внешних условий и настроений собственников компании. Поскольку одна из главных целей любой предпринимательской деятельности состоит в извлечении прибыли, направляемой на удовлетворение потребностей собственника, предприятие с низкими дивидендами инвестору экономически неинтересно. С другой стороны, отвлечение прибыли предприятия на потребление означает снижение темпов развития производства вследствие снижения доли реинвестируемых доходов предприятия. Таким образом, вопрос об оптимальном значении коэффициентанта выплаты дивидендов, по существу, сводится к вопросу о приоритетах между текущим и будущим потреблением (и, соответственно, темпами развития бизнеса).

Один из наиболее признанных методов оценки компании, широко применяемый в Северной Америке и Европе, базируется на долгосрочной оценке финансовых потоков предприятия. Акционерная стоимость компании оценивается по прогнозируемым свободным потокам наличности в ее будущие периоды деятельности. Поток свободных денежных средств в прогнозируемый период состоит из валового дохода за вычетом налогов и амортизации, капитальных расходов и средств, направляемых на увеличение чистых текущих активов. Ожидаемые потоки свободной наличности дисконтируются к моменту проведения оценки, что дает их текущую действительную стоимость, принимаемую за общую стоимость компании. Из полученной величины следует вычесть долги, и тогда может быть спрогнозирована биржевая стоимость акций. Таким образом, эта оценка представляет собой оценку перспективных поступлений компании — ни настоящие, ни, тем более, прошлые достижения компании не являются главными параметрами в этой оценке (как, например, в оценке рентабель-

ности компании). Концепция биржевой стоимости компании ориентирована на оценку долгосрочной хозяйственной политики компании, т. е. ее стратегическую устойчивость.

Наконец, группа *коэффициентов, характеризующих эффективность исполнительского персонала предприятия*, служит для сопоставления экономических показателей деятельности предприятия с численностью трудовых ресурсов, задействованных в производственном процессе. Среди этой группы коэффициентов наиболее употребительны производительность труда, капиталовооруженность (фондовооруженность), средняя заработная плата и прибыльность единицы персонала. *Производительность труда* характеризует доходность производства в расчете на одного работника и вычисляется как отношение годового дохода предприятия к среднегодовому числу его работников [3].

Перечисленные показатели финансовой стабильности имеют разные характерные времена изменения, что обусловлено их связью с разными производственными и экономическими процессами. Самым коротким является цикл восстановления равновесия коэффициентов ликвидности. Эти коэффициенты, определяемые через оборотные активы предприятия, тесно связаны с производственным циклом, поэтому, обеспечивая оптимальные значения коэффициентов этой группы, менеджмент поддерживает оперативную устойчивость активов фирмы. Закон определяет максимальный временной интервал нарушения ликвидности активов предприятия в три месяца, после чего может последовать возбуждение дела о банкротстве предприятия. Более продолжительным, сравнимым со временем жизни отрасли, являются периоды изменения рентабельности активов и коэффициентов деловой активности, связанные с превращением активов предприятия в денежную форму и получаемой при этом прибыли. Этот период имеет масштаб нескольких циклов производства плюс распределения, что по порядку величины совпадает с продолжительностью жизненного цикла отрасли. С позиций стратегической устойчивости, проявляющейся на отрезках времени и около нескольких отраслевых циклов, такой временной масштаб является тактическим. Таким образом, цикл восстановления рентабельности активов обеспечивает тактическую устойчивость структуры финансовых активов предприятия. Наконец, самым продолжительным является характерное время изменения показателей, описывающих положение предприятия на рынке, что отражает стратегические изменения в положении компании. К числу таких стратегических показателей относится, например, рыночная стоимость акций фирмы и

деловая репутация фирмы (гудвилл), которая в полной мере проявляется как экономическая категория при покупке оцениваемой фирмы и количественно измеряется разницей между ценой, уплаченной за чистые активы приобретенного предприятия, и суммарной реальной стоимостью этих чистых активов в отдельности. Деловая репутация может рассматриваться как объективная долгосрочная оценка эффективности высшего менеджмента компании экономическим сообществом.

Коэффициенты, отражающие эффективность персонала предприятия, участвуют в описании двух связанных процессов — колебаниях, порождаемых переводом деятельности предприятия в новые отрасли (эффект кривой обучения), и общем повышении производительности труда, обусловленном технологическим прогрессом. Первый процесс характеризует эффективность адаптации персонала предприятия к условиям производства в новой отрасли, имеет временной масштаб нескольких производственных циклов и потому обеспечивает тактическую устойчивость предприятия, в то время как второй процесс характеризует динамику средней заработной платы и прибыльности единицы персонала.

Оба эти показателя имеют характерные времена, равные нескольким отраслевым циклам, и их динамика отражает изменения в стратегическом положении компании. Все перечисленные показатели отражают динамику связанных между собой производственных, экономических и организационных процессов на предприятии, имеющих колебательную составляющую в своем движении. Эти колебания могут налагаться друг на друга, иногда помогая погасить нежелательные процессы, а иногда усиливая их, что может угрожать устойчивости предприятия. Поэтому для достижения стратегической устойчивости предприятия необходимы активные управленческие процедуры, способные гасить нежелательные колебания.

Сравнение периодов для различных циклов устойчивости предприятия — оперативных, тактических и стратегических — проясняет типовую тактику менеджмента предприятий, попавших в затруднительное положение. Например, широко распространенная практика исправлять положение некоторой группы показателей, временно жертвуя состоянием (из-за ухудшения значений) более медленно меняющихся групп показателей.

Хотя в тактическом смысле эти шаги могут принести временное облегчение, они наносят ущерб стратегическим ресурсам компании, который будет впоследствии проявляться в увеличении удельной стоимости факторов производства и снижении доходности от реализации продукции компа-



нии продолжительное время (крупномасштабные стратегические циклы). В качестве примера можно привести ситуацию, в которой повышение рентабельности операций при относительном снижении качества продукции фирмы достигалось за счет агрессивной рекламной политики, что с неизбежностью наносит ущерб репутации фирмы. Правильное решение — своевременные меры по совершенствованию качества продукции либо переадресация продукции (смещение в другой сегмент рынка либо уточнение целевой потребительской группы фирмы в том же сегменте — фокусирование стратегии).

Другую ошибку совершают менеджеры, которые пытаются исправить положение с рентабельностью путем снижения ликвидности, как это часто бывает у российских предприятий, против которых возбуждаются дела о банкротстве. Хотя рентабельность и ликвидность активов представляют собой взаимно дополняющие показатели, т. е. при определенных условиях увеличение одного из них влечет за собой снижение другого, рентабельность является более инерционной характеристикой бизнеса: она принадлежит к тактическим циклам устойчивости, в то время как ликвидность принадлежит к оперативным циклам. Поэтому при попытке исправить рентабельность операций за счет снижения ликвидности не может быть даже выигрыша во времени, который возникает в рассмотренном выше случае. Этот путь просто ведет к скорому и неизбежному проигрышу (если продолжение функционирования предприятия действительно является целью его менеджмента), что и подтверждает весь опыт дел о банкротстве. Отметим, что как первая, так и вторая рассмотренные ошибки были спровоцированы тем, что менеджмент предприятия упустил время для начала адекватной реакции на изменения во внешней среде в соответствующем цикле — тактическом или стратегическом — в тщетных попытках реагировать на качественно новые явления и процессы традиционными для фирмы методами и потому уже неадекватными этим процессам. Таким образом, для эффективного подавления развития нежелательных процессов в организации недостаточно иметь адекватную противодействующую

процедуру, большую роль играет и своевременный запуск этой процедуры.

Как правило, нарушение структуры активов фирмы наступает в следующих случаях. Во-первых, при резком изменении активов фирмы, например, в случае поглощения ослабленного конкурента, что ведет к временному снижению средней рентабельности операций фирмы. Если в течение периода, длительность которого зависит от резервов, выделенных на поглощение и адаптацию новых активов, не удастся выйти на среднотраслевой уровень рентабельности совокупных активов, возможно снижение запаса финансовой устойчивости. Во-вторых, при попытках руководства фирмы поднять экономическую отдачу от ее операций хотя бы на короткий период, поскольку к этому времени у фирмы начались трудности с ресурсным обеспечением ее деятельности. Стремясь повысить рентабельность операций в этих условиях, руководство фирмы часто идет на снижение уровня текущей ликвидности, что угрожает утратой платежеспособности и, как следствие, банкротством предприятия. Эти трудности могут возникать либо в результате продолжительной недостаточной рентабельности активов фирмы (“кризис успеха”), либо в результате прямых убытков, вызванных использованием активов предприятия при неоправданно высоких рисках. Обе причины являются результатом стратегических и тактических ошибок менеджмента (за исключением случаев резкого изменения внешней среды, в том числе и в результате форс-мажорных обстоятельств), поэтому *эффективность менеджмента* является важным фактором достижения и укрепления стратегической устойчивости фирмы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кучерявый А., Лясников Н., Шеметов В. Стратегическая устойчивость предприятия: понятие и составляющие // Надежность. — (В печати).
2. Федеральный Закон РФ “О несостоятельности (банкротстве)” от 26 октября 2002, № 127-ФЗ.
3. Экономика предприятия / Ред. В.М. Семенов. — М.: Центр экономики и маркетинга, 1998.

☎ (095) 775-89-63

E-mail: acadra@yandex.ru



НОВЫЙ ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

Л. А. Кузнецов, М. В. Черных

Липецкий государственный технический университет

Показана возможность и разработана методика описания и решения задачи объемного планирования на бухгалтерских данных предприятия. Формально задача планирования сведена к задаче условной оптимизации функции многих переменных, для решения которой могут быть применены известные методы, в частности, методы линейного программирования.

ВВЕДЕНИЕ

Управление организацией может быть эффективным лишь при опоре на реальные характеристики её финансового состояния, которые в установленном порядке отражаются в бухгалтерских данных. Существенное препятствие для применения математического аппарата с целью формирования процедур принятия управленческих решений состоит в вербально-табличном представлении бухгалтерских данных, характеризующих финансово-хозяйственную деятельность (ФХД) организации и её состояние.

В работах [1, 2] предложен новый оригинальный метод представления бухгалтерского учета ФХД организации в виде линейного пространства над полем бухгалтерских данных. Он позволяет формально и с единых позиций представить различные задачи управления организацией в неразрывной связи с её актуальным финансовым состоянием. Это, в свою очередь, открывает широкие возможности построения автоматизированных процедур анализа финансового состояния организации и синтеза оптимальных управлений её деятельностью. Главная ценность состоит в том, что процедуры опираются на данные бухгалтерского учета и могут быть встроены в существующие компьютерные бухгалтерские системы.

Препятствием для разработки и применения формальных процедур принятия решений в управлении предприятием является не только сложившееся несоответствие задачам управления представ-

ление финансовой информации, но и существенные ментальные расхождения между бухгалтерами и экономистами, с одной стороны, и специалистами по управлению, традиционно разрабатывающими методы автоматизации процедур принятия решений, с другой.

Цель настоящей работы состоит в наглядной демонстрации возможности формально-математического представления задач управления организацией с помощью стандартных инструментов бухгалтерского учета: Плана счетов и Инструкции по его применению [3]. Для примера выбрана задача перспективного планирования производства в достаточно традиционной постановке [4, 5 и др.].

1. ЗАДАЧА ПЛАНИРОВАНИЯ

Задача перспективного планирования производства в работах по оптимальному планированию и управлению в упрощенном для краткости виде формулируется, например, следующим образом.

Обозначим:

— номером $m = 1, 2, \dots, M$ вид продукции, выпускаемой предприятием, и (или) услуг, оказываемых им; M — общее число видов продукции и услуг;

— номером $n = 1, 2, \dots, N$ технологические операции; их последовательность образует технологию;

— номером $k = 1, 2, \dots, K$ период планирования; весь горизонт планирования разбивается на K периодов.

На производство продукции и оказание услуг расходуются различные ресурсы: энергетические,



материальные, трудовые, финансовые. Для формального описания их можно упорядочить и занумеровать определенным образом. Обозначив их номера буквой $r = 1, 2, \dots, R$, где R — общее число видов ресурсов, можно сформировать матрицы $Q^r(k)$ размера $N \times M$. Элементы этих матриц $q_{nm}^r(k)$ определяют расход ресурса типа r в физическом выражении в k -м периоде планирования при производстве единицы продукции типа $m = 1, 2, \dots, M$ на операции $n = 1, 2, \dots, N$.

Пусть $b(k)$ — M -мерный вектор спроса на продукцию предприятия в k -м периоде. Если вектор спроса $b(k)$ — случайный, а матрица $Q^r(k)$ — стохастическая, то получается стохастическая постановка задачи [4], если эти характеристики заданы однозначно, то получается детерминированный вариант. Цель данной работы состоит в демонстрации методологии описания задач управления производством в монетарных представлениях, которые органично связаны с менеджментом и понятны ему, и в ней рассматривается детерминированный вариант.

Продолжим формулирование задачи планирования в традиционной постановке и введем:

$p(k) = (p_1(k), p_2(k), \dots, p_M(k))^T$ — M -мерный вектор объемов производства различных видов продукции в k -м периоде;

$c(k) = (c_1(k), c_2(k), \dots, c_M(k))^T$ — вектор цен за единицу продукции при реализации в k -м периоде;

$\bar{q}(k) = (\bar{q}^1(k), \bar{q}^2(k), \dots, \bar{q}^R(k))^T$ — вектор имеющихся объемов ресурсов типа $r, r = 1, 2, 3, \dots, R$ в k -м периоде;

$b^-(k)$ — неотрицательный M -мерный вектор неудовлетворенного спроса в k -м периоде;

$b^+(k)$ — неотрицательный M -мерный вектор превышения производства над спросом в k -м периоде.

Значения дефицита или избытка продукции на складе предприятия являются ограничениями на объем производства:

$$b^-(k) = b^-(k-1) + b(k) - p(k), \quad (1)$$

$$b^+(k) = b^+(k-1) + p(k) - b(k). \quad (2)$$

Так как не могут быть одновременно перепроизводство и дефицит, то

$$b^+(k) \cdot b^-(k) = 0. \quad (3)$$

Заметим, что каждое из ограничений (1)–(3) распадается на M скалярных равенств.

Расход ресурса типа r на производство в k -м периоде в физических единицах определяется произведением матрицы $Q^r(k)$ на вектор $p(k)$:

$$q^r(k) = Q^r(k) \times p(k), \quad r = 1, 2, \dots, R, \quad (4)$$

где $q^r(k)$ — N -мерный вектор расхода ресурса типа r на каждой из n операций технологического процесса для производства всей продукции; если какая-либо операция отсутствует в k -м периоде производства, то затраты на ней нулевые.

Обозначим $c^r(k)$ — цена единицы ресурса типа r на k -м временном промежутке; тогда финансовые затраты $s^r(k)$ на ресурс r в k -м периоде

$$s^r(k) = c^r(k) \times q^r(k), \quad r = 1, 2, \dots, R. \quad (5)$$

Суммирование всех компонент вектора $q^r(k)$ дает потребность производства в ресурсе r в k -й период, а суммирование компонент вектора $s^r(k)$ дает стоимость этого ресурса:

$$\begin{aligned} s^r(k) &= c^r(k) \times \left\{ \sum_{i=1}^N q_i^r(k) \right\} = \\ &= c^r(k) \times \left\{ \sum_{i=1}^N Q^r(k) \times p(k) \right\}, \quad r = 1, 2, \dots, R. \end{aligned} \quad (6)$$

Запас ресурса типа r ограничен величиной $\bar{q}^r(k)$. Поэтому для каждого этапа планирования должно выполняться ограничение

$$\left\{ \sum_{i=1}^N Q^r(k) \times p(k) \right\} \leq \bar{q}^r(k), \quad r = 1, 2, \dots, R. \quad (7)$$

Состояние производства в предыдущий период можно представить начальными условиями $s^+(k-1)$, $s^-(k-1)$. Затраты на хранение продукции на складе

$$[c^+(k)]^T \times [b^+(k-1) - b(k) + p(k)] = z^+(k), \quad (8)$$

затраты на покрытие санкций за недопоставку продукции

$$[c^-(k)]^T \times [b^-(k-1) + b(k) - p(k)] = z^-(k), \quad (9)$$

где $c_m^+(k)$, $c_m^-(k)$, $m = 1, 2, \dots, M$ — затраты на хранение и штраф за недопоставку, отнесенные к единице продукции типа m .

Объем производства, запас продукции на складе и спрос на нее связаны:

$$p(k) + b^+(k) \geq b(k), \quad (10)$$

$$p(k) - b^-(k) \geq b(k). \quad (11)$$

В традиционной постановке результат деятельности предприятия выражается в виде разности

между затратами на ресурсы и хранение продукции и выручкой, полученной от реализации продукции, что для произвольного k -го периода планирования представляется в следующем виде:

$$\Phi(k) = [c(k)]^T [b(k) - b^-(k)] - \sum_r s^r(k) - z^+(k) - z^-(k), \quad (12)$$

где первый член в правой части дает сумму выручки от реализации продукции, второй содержит сумму затрат на все виды ресурсов $r = 1, 2, \dots, R$ в k -й период, третий и четвертый члены, соответственно, определяют затраты на хранение излишков производства и компенсацию недопоставок.

Уравнения связи, ограничения и критерий (1)–(12) в совокупности могут быть представлены в виде следующей задачи условной оптимизации:

$$\Phi(k) = [c(k)]^T [b(k) - b^-(k)] - \sum_r s^r(k) - z^+(k) - z^-(k) \rightarrow \max, \quad (13a)$$

где максимизация достигается выбором оптимальных значений $p(k)$ объемов производства продукции при ограничениях на:

— ресурсы

$$\left\{ \sum_{i=1}^N Q^r(k) \times p(k) \right\} \leq \bar{q}^r(k), \quad r = 1, 2, \dots, R; \quad (13б)$$

— объемы производства

$$p(k) + b^+(k) \geq b(k), \quad (13в)$$

$$p(k) - b^-(k) \geq b(k)$$

и при наличии связей (1)–(6), (8) и (9) между переменными.

Далее эта же задача (13) будет описана в терминах бухучета. Заметим, что в работах математического направления величина $\Phi(k)$ содержательно трактуется как прибыль от реализации продукции, произведенной в k -й период. Однако бухгалтерия и финансовые работники предприятия не смогут соотнести величины, представленные в выражениях (13), с реальными данными, характеризующими ФХД предприятия в k -й период. По крайней мере, для установления такого соответствия потребуются выполнить значительный объем нетривиального преобразования финансово-экономической информации, которое под силу далеко не каждому специалисту по финансам. Именно по этой причине рядом с бухгалтерской отчетностью и с использованием её данных конструируются дополнительные инструменты финансового анализа. Задача ещё более усложняется, если речь заходит об управлении ФХД предприятия.

2. ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФИНАНСОВО-ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ОРГАНИЗАЦИИ

В конечном итоге все реальные результаты деятельности находят отражение в бухгалтерских данных. Поэтому, чтобы иметь возможность анализировать влияние различных факторов на эффективность производственной деятельности, необходимо величины, входящие в выражения (13) и другие подобные модели, выразить через понятные данные бухгалтерского учета, сохранив при этом возможность аналитического представления ограничений на производственную деятельность и ресурсы, а также конструирования критерия оптимальности, отражающего основную цель деятельности предприятия.

В контексте данной работы целесообразно воспользоваться динамической моделью ФХД организации [2], которая представляет совокупность оборотов и сальдо по счетам организации, выраженных через суммы средств на них. Суммы средств на различных счетах взаимосвязаны уравнениями проводок и отражают актуальное или прогнозируемое состояние организации. За состояния финансово-хозяйственной системы приняты сальдо по счетам, через которые могут быть выражены выходные характеристики системы — различные показатели эффективности её деятельности. В сжатом виде модель динамики может быть представлена так:

$$v^J(k) = v^J(k-1) \sum_{I=1}^N \delta_I^J x_I^J(k) - \sum_{I=1}^N \delta_I^J x_I^J(k), \quad j \in [1, N], \quad (14a)$$

$$v_J(k) = v_J(k-1) + \sum_{I=1}^N \delta_I^J x_I^J(k) - \sum_{I=1}^N \delta_I^J x_I^J(k), \quad j \in [1, N], \quad (14б)$$

где x_I^J — сумма финансовых средств по дебету счета J и кредиту счета I ; N — количество счетов, которыми покрываются задачи бухгалтерского учета предприятия; $v^J(k-1) = v_0^J$, $v_J(k-1) = v_{j0}$ — входящие для k -го периода дебетовое или кредитовое сальдо J -го счета; $\sum_{I=1}^N \delta_I^J x_I^J(k)$ и $\sum_{I=1}^N \delta_I^J x_I^J(k)$ — обороты по дебету и кредиту J -го счета за k -й период; $v^J(k)$ и $v_J(k)$ — исходящие для k -го периода сальдо по дебету или кредиту J -го счета,

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

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



3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СООТВЕТСТВИЯ МЕЖДУ ПЕРЕМЕННЫМИ ЗАДАЧИ ПЛАНИРОВАНИЯ И ФХД ОРГАНИЗАЦИИ

В рамках единой модели переменные в задаче планирования могут быть описаны взаимосвязано в физических и в денежных единицах. Все ресурсы, используемые в производстве (оборудование, сырье, энергия, рабочая сила и др.), отражаются на соответствующих счетах в денежном выражении в виде сумм x_I^J , где J — номер счета по дебету, а I — номер счета по кредиту. Для некоторых счетов Планом счетов определены субсчета или счета второго порядка.

Регламент бухгалтерского учета позволяет вводить для детализации информации аналитические счета третьего, четвертого и так далее порядков. С их помощью могут быть индивидуализированы и соотнесены с объектами производства все затраты и все возможные поступления средств. Номера счетов выше второго порядка не регламентированы и являются дополнительными к счетам и субсчетам J типового плана. Естественно в качестве номеров аналитических счетов использовать уже введенные в выражениях (13) номера видов продукции, ресурсов и т.п. Этим достигается структуризация средств.

В результате, кроме переменных $x_I^J(k)$ и $x_J^I(k)$, появятся детализирующие их переменные $x_{I:r,n,m}^{J:r,n,m}(k)$ и $x_{J:r,n,m}^{I:r,n,m}(k)$, где r, n, m — номера дополнительных аналитических счетов к счетам J и I по дебету и кредиту, на которых фиксируются соответствующие средства. Так как номера счетов могут быть многозначными, то для исключения путаницы условимся номер субсчета отделять от номера счета точкой, номера вводимых аналитических счетов отделять двоеточием, а между собой разделять их запятыми.

Представим параметры и переменные задачи планирования в терминах бухгалтерского учета. Наиболее важной составляющей планирования производства является учет ограниченности ресурсов, рациональное использование которых в конечном итоге определяет оптимальность плана.

Опишем механизм учета ресурсов и формирования затрат в соответствии с регламентом бухгалтерского учета. Оговоримся, что особенности предприятия, его деятельности и учетной политики могут вносить некоторые содержательные коррективы в набор и последовательность проводок, но не в формальную модель образования затрат в терминах бухучета. Далее рассматривается абстрактное предприятие, производящее некую продукцию или услуги. Результаты могут применяться и для торговых предприятий, для которых модель упрощается благодаря сокращению вида финансовых операций и счетов.

Для того чтобы иметь возможность выписать для иллюстрации конкретные выражения, допустим, что предприятие производит три вида продукции ($M = 3$), технология включает в себя три операции ($N = 3$) и использует три вида ресурсов ($R = 3$): сырье, оборудование и трудозатраты, т. е. должны быть учтены затраты на сырье, амортизацию и оплату труда. Для этого случая матрицы $Q^r(k)$ имеют вид:

$$Q^r(k) = \begin{pmatrix} q_{11}^r(k) & q_{12}^r(k) & q_{13}^r(k) \\ q_{21}^r(k) & q_{22}^r(k) & q_{23}^r(k) \\ q_{31}^r(k) & q_{32}^r(k) & q_{33}^r(k) \end{pmatrix}, \quad r = 1, 2, 3.$$

Допустим, что матрица $Q^1(k)$ описывает расход сырья, матрица $Q^2(k)$ соответствует трудозатратам, а матрица $Q^3(k)$ определяет амортизацию.

Затраты на производство накапливаются на 20-м, общепроизводственные расходы — на 25-м и общехозяйственные расходы — на 26-м счетах. В конечном итоге суммарные затраты собираются на счете 90. Для иллюстрации, чтобы обеспечить разнообразие, достаточно принять, например, что затраты на сырье и оплату труда отражаются на 20-м, а амортизация — на 25-м счете. При этих соглашениях элементы матрицы $Q^1(k)$ характеризуют расход сырья на единицу продукции по операциям и видам продукции.

Умножением величины $q_{nm}^1(k)$ на объем производства $p_m(k)$ и цену единицы ресурса $c^1(k)$ вида 1 получается его стоимость, отражаемая в учете, т. е.

$$s_{nm}^1(k) = c^1(k) q_{nm}^1(k) p_m(k). \quad (15)$$

Здесь и далее предполагается, что $n \in [1, 2, \dots, N]$, $m \in [1, 2, \dots, M]$ и $r \in [1, 2, \dots, R]$, но без особой необходимости это указываться не будет для краткости.

При отражении суммы средств в бухучете необходимо сделать две записи по дебету одного счета и кредиту другого. Факт использования материалов в производстве отражается по дебету 20-го и кредиту субсчета 10.1 (Сырье и материалы). Таким образом, получается

$$x_{10.1:1,n,m}^{20:1,n,m}(k) = s_{nm}^1(k), \quad (16)$$

где n, m — номера аналитических счетов, введенных к счетам 20 и 10.1 для учета стоимости сырья,

расходуемого на n -й операции в k -й период времени при производстве продукции m в объеме $p_m(k)$.

Уместно отметить, что запись проводки в виде (16) содержит информацию об этапе производства и реализованной технологической операции. Этап отражается корреспонденцией, а номер — номером аналитического счета $n = 1, 2, 3$. Правая часть отражает, какие величины влияют на результат операции. Представление маршрутов движения средств будет пояснено в § 4.

Матрица $Q^2(k)$ характеризует ресурс — трудозатраты. Её элементами являются, например, нормы человеко-часов на выполнение n -й операции при производстве единицы продукции m -го вида. Умножением величины $q_{nm}^2(k)$ на стоимость человеко-часа $c_n^2(k)$ при принятой системе оплаты труда и объем производства получают затраты на оплату труда. Формула для перехода к денежному выражению оплаты труда получается из выражения (15) заменой верхнего индекса 1 на 2:

$$s_{nm}^2(k) = c_n^2(k) q_{nm}^2(k) p_m(k), \quad (17)$$

а в формуле (16) изменятся номера счетов, так как зарплата начисляется по кредиту 70-го счета:

$$x_{70:2,n,m}^{20:2,n,m}(k) = c_n^2(k) q_{nm}^2(k) p_m(k).$$

Начисление зарплат влечет за собой исчисление выплат в Пенсионный фонд, которые являются производными от зарплат и определяются в виде доли или процента от неё. Доля устанавливается Правительством и известна заранее. Обозначив её λ_{69}^{70} , можно получить разнесенные по технологическим операциям и видам продукции отчисления в Пенсионный фонд:

$$x_{69}^{20:2,n,m}(k) = \lambda_{69}^{70} x_{70}^{20:2,n,m}(k). \quad (18)$$

Номера счетов в качестве индексов в обозначении коэффициента подчеркивают его содержательное существо. Здесь имеется корреспонденция с соподчиненностью (14): сумма отчислений однозначно определяется по зарплате. Далее через расчетный счет средства могут быть переведены в кассу для выдачи персоналу и на счета фондов страхования.

Другие обязательные выплаты в бюджет и различные фонды определяются по формулам вида (18). Изменяться будут лишь значения коэффициента λ и номера счетов, на которых отражается базовая сумма и результат (в формуле (18) это, соответственно, счета 70 и 69).

Свертка средств осуществляется по формулам:

$$\begin{aligned} x_{51}^{70} &= \sum_{n=1}^3 \sum_{m=1}^3 x_{70}^{20:2,n,m} \text{ и} \\ x_{51}^{69} &= \sum_{n=1}^3 \sum_{m=1}^3 x_{69}^{20:2,n,m}. \end{aligned} \quad (19)$$

Если в формулах (19) сохранить только первый знак суммирования, то при $m = 1, 2, 3$ будут получены суммы оплаты труда и начислений, приходящиеся на соответствующий вид продукции.

Наконец, третий вид ресурса, демонстрируемый в примере, амортизация оборудования. В этом случае элементы $q_{nm}^3(k)$ матрицы $Q^3(k)$ отражают долю отчислений на амортизацию, которая относится на единицу продукции типа m на операции n . Принципы нормирования могут быть различными и здесь не рассматриваются, но ясно, что должно быть:

$$\sum_{n=1}^3 \sum_{m=1}^3 q_{nm}^3(k) = 1. \quad (20)$$

Определенные таким образом коэффициенты, умноженные на стоимость амортизируемого оборудования, дадут суммы отчислений, приходящиеся на единицу продукции типа m на операции n , т. е.

$$x_{25:3,n,m}^{20:3,n,m}(k) = C(k) q_{nm}^3(k),$$

где $C(k)$ — стоимость оборудования.

Отсюда видно, что амортизация отнесена к “Общепроизводственным расходам”. Суммирование по всем операциям даст отчисления на единицу продукции, а умножение на объемы производства даст отчисления на виды продукции.

Для рассматриваемого примера затраты производства могут быть записаны в явном виде:

$$x^{20:n,m}(k) = \sum_J \delta_J^{20}(k) x_{J:r,n,m}^{20:r,n,m}(k),$$

$$\text{где } \delta_J^{20}(k) = \begin{cases} 1, J \in \{10.1, 25, 69, 70\} \\ 0, J \notin \{10.1, 25, 69, 70\} \end{cases}.$$

Таким образом, суммы средств на счетах организации могут играть роль, с математической точки зрения, канонических переменных с индексами, широко применяемых в различных разделах математики, в частности, в линейной алгебре и математическом программировании.

4. ФОРМАЛЬНОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЯ СРЕДСТВ, ОТРАЖАЮЩИХ ПРОЦЕСС ПРОИЗВОДСТВА

Формальный язык описания объектов и связей между ними, как известно, более четок и менее избыточен, чем вербальный. Поэтому кратко проил-



люстрируем возможности и, в некотором смысле, изящность компактного графического представления движения финансовых средств по счетам предприятия в виде схем, отражающих последовательность и содержание бухгалтерских операций. В литературе по бухгалтерскому учету даются вербальные описания бухгалтерских проводок для отражения отдельных актов производственной деятельности организации, но они не позволяют прозрачно представить системную картину движения и трансформации средств организации в процессе её эволюции.

Формальный язык описания бухгалтерского учета, предложенный в работе [1], предоставляет широкие возможности схематического представления движения и трансформации средств в действующей организации. При этом наглядно отражаются стройность и законченность внутренней структуры бухгалтерского учета. В качестве демонстрационных примеров покажем схемы трансформации средств на сырье, оплату труда и амортизацию. Ценность подобного представления в том, что оно наглядно отражает движение средств в неразрывной взаимосвязи с актами производственной деятельности организации.

На рис. 1 приведена схема проводок и актов деятельности, связанных с приобретением сырья, стоимость которого входит в стоимость продукции, продаваемой покупателю.

Схема, конечно, упрощена, так как иллюстрирует только цепочку операций, описывающих движение средств, отражающих стоимость партии сырья, что подчеркивается указанием 1-го аналитического счета ко всем стандартным счетам Плана счетов на этапах до включения её в затраты производства. Тем не менее, она демонстрирует наглядность и компактность предложенного в работе [1] формального описания бухучета. Первая бухгалтерская операция отражает акт оплаты сырья записью в дебет счета 60.1 стоимости приобретенного сырья и в кредит счета 51 оплаты его поставщику.

Первый акт (номера актов — цифры над стрелками) не имеет “технологического” содержания. Вторая операция отражает акт учета приобретенного сырья на основании расчетных документов, поступивших в организацию. Второй акт уже содержательный. Он состоит в фактическом поступлении (оприходовании) приобретенного сырья на склад. Акт 3 отражает производственный процесс, в котором сырье и ресурсы преобразуются в продукцию предприятия. Их стоимость переносится в стоимость продукции. Это отражается по дебету счета 20:1, n , m (1 — шифр ресурса, n — шифр технологической операции, m — шифр продукции) и

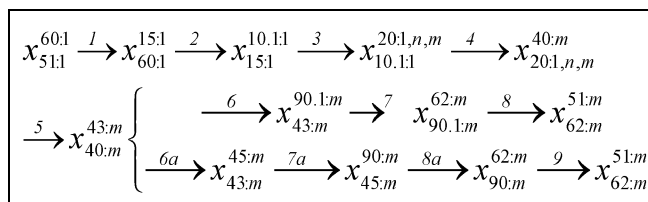


Рис. 1. Схема движения средств по счетам предприятия при приобретении, использовании сырья в производстве и продаже продукции (для простоты период времени не показан)

кредиту счета 10.1 : 1 (1 — номер субсчета “Сырье и материалы”, :1 — шифр ресурса (сырья)). Далее будет показано, что по дебету счета 20:1, n , m будут суммироваться затраты по оплате труда и амортизации, относимые на стоимость технологической операции n при производстве продукции m .

Аналитические счета для вида сырья сохраняются, пока в исходном состоянии существует сырье. В процессе производства оно входит в продукцию и перестает существовать самостоятельно. Это также отражается в системе аналитических счетов. После 20-го счета детализация по операциям также не имеет смысла и сохраняется детализация по видам продукции.

Акт 4 отражает завершение производства продукции и следующая за ним бухгалтерская операция предназначена для переноса в дебет счета 40: m плановой себестоимости продукции m . Свертка средств по видам ресурсов и технологическим операциям осуществляется по формулам, подобным формулам (19). Этап 5 отражает передачу продукции на склад предприятия и учет её по дебету счета 43 : m “Готовая продукция”. Для продажи на схеме показаны два варианта.

Верхний 6—7—8 отражает последовательность операций: 6 — продажа с проводкой кредит счета 43 : m “Готовая продукция: вид m ” → дебет счета 90.1 : m “Продажи. Выручка: продукция m ” (уменьшение готовой продукции и увеличение выручки); 7 — отражает сумму долга за проданную продукцию за покупателем по дебету счета 62 : m ; 8 — отражает поступление средств за проданную продукцию m на “Расчетный счет” 51 предприятия.

Нижняя ветвь отражает последовательность операций 6a—7a—8a—9 и отличается от верхней добавлением дополнительного счета 45 “Товары отгруженные”. На нем отражается отгруженная продукция, факт оплаты за которую не подтвержден финансовыми документами. Заметим, что для дифференциации продаж и состояния расчетов по покупателям к счетам 62: m и 51 : m возможно введение дополнительных аналитических счетов.

$$\begin{aligned}
 & \text{а) } x_{70}^{20:2,n,m} \xrightarrow{1} x_{69}^{20:2,n,m} = \lambda_{69}^{70} \cdot x_{70}^{20:2,n,m} \xrightarrow{2} x_{51}^{70} \xrightarrow{3} x_{51}^{69} \\
 & \text{б) } x_{25:3,n,m}^{20:3,n,m} \xrightarrow{1} x_{02}^{25:3,n,m}
 \end{aligned}$$

Рис. 2. Схема движения средств:

a — по оплате труда, *б* — учету амортизации

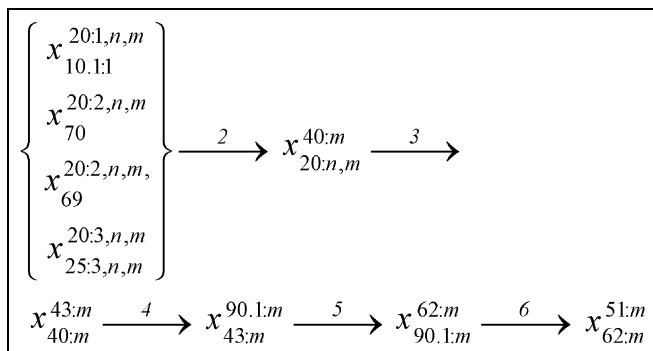


Рис. 3. Упрощенная схема формирования плановой себестоимости продукции

Из схемы следует полный оборот финансовых средств: первая операция — уход (затраты) средств на ресурсы, последняя — поступление средств за проданную продукцию.

Трудозатраты в рассматриваемом примере являются ресурсом $r = 2$, а оборудование (амортизация) третьим ресурсом $r = 3$. Схемы движения средств, связанных с оплатой труда и амортизацией показаны на рис. 2.

В схеме (рис. 2, *a*) аналитические счета сохранены до этапа производства включительно, так что и зарплата, и начисления связаны с операцией и видом продукции, затраты на которую учитываются по дебету 20-го счета. Для расчета с персоналом к счету 70 вводятся аналитические счета по работникам предприятия. Для конкретного предприятия переход от сумм, отраженных на счетах $20 : 2, n, m$, к суммам, которые надлежит отразить на счетах $70 : l$, где l — табельный номер работника, может быть описан с помощью индексов (14).

Первая проводка (см. рис. 2, *a*) отражает факт начисления зарплат, которая включается в себестоимость продукции по дебету 20-го счета и по кредиту 70-го как долг персоналу. Вторая операция отражает отчисления по социальному страхованию, доля (процент) которых устанавливается Правительством и на схеме обозначена λ_{69}^{70} .

В схемах (см. рис. 1 и 2) фигурируют четыре суммы средств, отражающие расход всех ресурсов

($r = 1, 2, 3$) по дебету счета 20 в корреспонденции со счетами 10.1 “Сырье и материалы”, 70 “Расчеты с персоналом по оплате труда”, 69 “Расчеты по социальному страхованию и обеспечению” и 25 “Общепроизводственные расходы”. На счет 25 были отнесены отчисления на амортизацию. Полная схема формирования затрат имеет вид, показанный на рис. 3.

Напомним, что цель примера не в отражении всех деталей движения финансовых средств или формирования себестоимости, а в демонстрации возможности такого отражения с помощью формальных структур, допускающих математические методы исследования.

Здесь уместно обратить внимание ещё на одно полезное свойство принятой системы обозначений проводок и представленных схем перемещения средств.

Обозначение произвольной суммы средств, с указанием номеров счетов по дебету и кредиту, эквивалентно проводке — записи равенства между суммами на счетах, т. е.

$$\begin{aligned}
 x_I^J & \cong x_I = x^J \text{ или} \\
 x_{I:m}^{J:r,n,m} & \cong x_{I:m} = \sum_{r=1}^R \sum_{n=1}^N x^{J:r,n,m}, \quad (21)
 \end{aligned}$$

где символ “ \cong ” означает эквивалентность.

Уравнения (21), фактически отражаемые в обозначении сумм средств, необходимы для связывания переменных задачи в единую систему.

5. ЗАДАЧА ПЛАНИРОВАНИЯ НА ДАННЫХ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА

Теперь перенесем задачу планирования, сформулированную в § 1, на данные бухгалтерского учета. Результаты, изложенные в § 4, показывают возможность определения однозначного соответствия между переменными задачи планирования и переменными бухгалтерского учета конкретного предприятия.

В § 2 приняты физические величины измерения переменных, а в бухгалтерском учете, наряду с ними, применяется денежное измерение. Очевидно, что соответствие между ними устанавливается через цену единицы продукции, ресурса и т. п. Поэтому величины в задаче над полем бухгалтерского учета y , x и v связаны с величинами в традиционной задаче b , q и p очевидным масштабным преобразованием вида

$$v = c \times b, \quad (22)$$



где v — денежное выражение, b — физическое выражение величины, c — стоимость единицы величины.

Расход ресурсов (4)–(6) вычисляется суммированием переменных $x_{I,J}^J$, определяемых выражениями (15), (17) и (20), по формулам типа (18). Ограничение (7) на наличие ресурса эквивалентно наличию дебетового сальдо по соответствующему аналитическому счету. Для примера с ресурсом $r = 1$ (15) можно записать:

$$v^{10.1:1}(k) = v^{10.1:1}(k-1) + x_{15:1}^{10.1:1}(k) - \sum_{n=1}^3 \sum_{m=1}^3 x_{10.1:1}^{20:1,n,m}(k), \quad (23)$$

где второе слагаемое отражает поступление ресурса $r=1$ на склад, а двойная сумма отражает затраты ресурса на всех операциях при производстве всех видов продукции. По сравнению с выражением (7) в формуле (23) первые два слагаемых правой части дают $q^r(k)$, а двойная сумма равна левой части неравенства (7). Понятно, что сальдо не может быть отрицательным.

На основании преобразования (22) устанавливается соответствие между объемами $q^r(k)$ и стоимостью $v^r(k)$, $x_{I,r}^{J:r}(k)$ произвольного ресурса r . Ограничение на ресурсы (13б) в терминах бухучета приобретает вид:

$$\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M x_{10.1:r}^{20:r,n,m}(k) \leq v^{10.1:r}(k-1) + x_{15:r}^{10.1:r}(k), \quad r = 1, 2, \dots, R. \quad (24)$$

Содержательный смысл составляющих выражений (23) и (24) совпадает. Аналогично можно представить в терминах формализованной модели бухучета другие объекты задачи планирования.

Виды продукции идентифицируются шифрами $m = 1, 2, \dots, M$, которые совпадают с номерами аналитических счетов к счетам 20, 40, 43, 45 и другим, необходимым для детального отражения данных.

Состояние продукции ассоциируется с номерами счетов Плана счетов. На счете 20 отражается продукция, находящаяся в производстве. Введение счетов для отражения затрат по технологическим операциям $n = 1, 2, \dots, N$ позволяет отслеживать состояние продукции (и склад, на котором она находится). Ясно, что счета уровня n могут и не вводиться, если необходимость такого учета отсутствует.

Продукция, учтенная на счетах $n = 1, 2, \dots, N-1$, относится к незавершенному производству. Объем полупродукта типа $m = m_1$ после операции n_1 на конец k -го периода определяется сальдо по счету $20:n_1, m_1$:

$$v^{20:n_1, m_1}(k) = v^{20:n_1, m_1}(k-1) + \sum_J \delta_J^{20}(k) x_{J:r, n_1, m_1}^{20:n_1, m_1}(k) - x_{20:n_1, m_1}(k).$$

Это уравнение имеет достаточно прозрачный и содержательный смысл. В правой части по порядку следования слагаемых представлены в денежном выражении: объем полупродукта m_1 после операции n_1 от прошлого периода, объем полупродукта m_1 , прошедшего операцию n_1 в k -м периоде, и объем полупродукта, переданного на последующие технологические операции. Оно показывает, что по дебету 20-го счета исчислены все затраты, связанные с производством данного полупродукта на данной операции.

В последнем слагаемом не указан счет по дебету. Для операций $n = 1, 2, \dots, N-1$ соответствующая сумма средств будет переписываться в дебет счетов $20 : n_1 + 1, m_1, 20 : n_1 + 2, m_1, \dots, 20 : N-1, m_1$, оставаясь незавершенным производством на разных стадиях. Продукция после N -й операции приобретает статус готовой и затраты на её производство переписываются на 40-й счет. В зависимости от учетной политики возможен и прямой перенос производственных затрат с кредита 20-го счета в дебет 43-го счета.

Готовая продукция учитывается на 43-м и 45-м счетах. По правилам бухгалтерского учета [3] изготовленная продукция учитывается на счете 43 “Готовая продукция” в корреспонденции со счетом 40 или счетами учета затрат 20, 25 и 26. Поэтому объем продукции, произведенный в k -й период и обозначенный в § 1 переменной $p_m(k)$, с точностью до масштабного преобразования (27) определяется оборотом по дебету аналитического счета $43 : m$ в корреспонденции со счетами учета затрат:

$$y^{43:m}(k) = \sum_I \delta_I^{43}(k) x_{I:m}^{43:m}(k), \quad \delta_I^{43}(k) = \begin{cases} 1, & \text{если } I \in \{20, 40\} \\ 0, & \text{если } I \notin \{20, 40\}. \end{cases} \quad (25)$$

На счете 45 “Товары отгруженные” учитывается продукция, отгруженная потребителям или переданная для продажи на комиссионных началах, оплата за которую ещё не поступила, но в учете

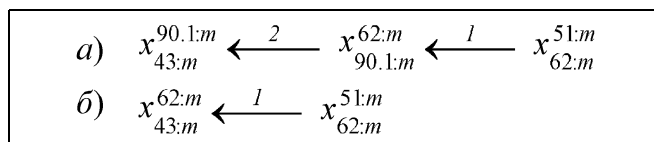


Рис. 4. Возможная схема отражения предоплаты:

а — при отсутствии дефицита; б — при его наличии

она со склада выдана. Сальдо, отражающее объем такой продукции, может быть представлено в виде:

$$v_{45:m}^{45:m}(k) = v_{45:m}^{45:m}(k-1) + x_{43:m}^{45:m}(k) - x_{45:m}^{90:m}(k). \quad (26)$$

В выражение (26) можно ввести учет по торговым агентам (дилерам) добавлением ещё одного индекса, принимающего значения по их числу. При наличии перепродажи товаров появится корреспонденция по дебету со счетом 41 “Товары”.

Представление эффективности производства возможно через значения затрат и выручки от продаж. Для выявления финансового результата деятельности хозяйствующего субъекта предусмотрены счета раздела VIII “Финансовые результаты”. Ежемесячный результат определяется на счете 90 “Продажи” и переносится на счет 99 “Прибыли и убытки”, на котором накапливается в течение года. Для пояснений достаточно ограничиться счетом 90 и его субсчетами 90.1 “Выручка”, 90.2 “Себестоимость продаж”, 90.3 “НДС”, 90.9 “Прибыль/убыток от продаж”.

В схеме (см. рис. 3) отражено вхождение себестоимости производства продукции в выручку. Затраты производства, накапливаемые на счете 20, через кредит счета 43 переносятся на субсчет 90.1 “Выручка” одновременно с признанием выручки, отражаемой по кредиту субсчета 90.1 в корреспонденции с дебетом счета 62.

Здесь будет отражен возможный вариант представления прибыли. Кроме затрат на производство, отраженных в приводимом здесь примере, организация несет расходы на продажу, отражаемые на счете 44, и должна оплатить НДС, отражаемый на счете 90.3 “НДС” в корреспонденции со счетом 68 “Расчеты по налогам и сборам”. Все затраты отражаются по дебету счета 90, а выручка — по его кредиту. Разность оборотов и дает финансовый результат. Оборот по кредиту (выручка) должен быть больше, поэтому для каждого вида продукции можно записать:

$$F_m(k) = y_{90:m}(k) - y_{90:m}^{90:m}(k), \quad m = 1, 2, \dots, M,$$

где $y_{90:m}(k)$ — кредитовый оборот по аналитическому счету 90.1 : m — выручка за продукцию вида m за k -й период; $y_{90:m}^{90:m}(k)$ — дебетовый оборот полных затрат на продукцию вида m .

При этом выручка отражается по платежным документам на продукцию и дебетуется со счетом 62 “Расчеты с покупателями и заказчиками”, а дебетовый оборот

$$y_{90:m}^{90:m}(k) = \sum_J \delta_J^{90}(k) x_{J:m}^{90:m}(k),$$

$$\delta_J^{90} = \begin{cases} 1, J \in \{43, 44, 68\} \\ 0, J \notin \{43, 44, 68\}. \end{cases}$$

Содержание счетов по кредиту пояснено выше.

Связи (1) и (2) между переменными, характеризующими производство, могут быть представлены следующим образом. Дефицит продукции, описываемый уравнением (1), может быть определен по бухгалтерским данным. Реализация или выбытие продукции со склада организации отражается по кредиту счета 43 “Готовая продукция”. Дефицит возникает в случае, когда сумма средств, учтенных организацией за продукцию, превышает объем продукции на складе и в пути. В формуле (26) последнее слагаемое отражает оплату продукции в обычном порядке, который отражен на схеме (см. рис. 1) операциями, начиная с 6-й. На практике возможна предварительная оплата продукции, при которой средства должны двигаться как бы в обратном порядке, показанном на схеме (рис. 4, а). Однако такая схема возможна при отсутствии дефицита. В случае дефицита операция продажи не может быть реализована в полной мере: средства покупателя поступили на расчетный счет, но операции с 90-м счетом “Продажи” из-за отсутствия требуемой продукции не могут быть выполнены, и у предприятия возникает долг. Он может быть отражен на 62-м счете в корреспонденции с 43-м счетом по схеме, представленной на рис. 4, б и позволяющей формально описать дефицит по определенным видам продукции. Следуя ей, уравнение (1), после умножения его членов на цены соответствующих составляющих, записывается через суммы средств на счетах в виде:

$$v_{43:m}^{43:m}(k) = v_{43:m}^{43:m}(k-1) + \sum_J \delta_J^{43}(k) x_{J:m}^{43:m}(k) - \sum_I \delta_I^{43}(k) x_{I:m}^{43:m}(k), \quad (27)$$



$$\text{где } \delta_I^{43}(k) = \begin{cases} 1, & \text{если } I \in \{20, 40\} \\ 0, & \text{если } I \notin \{20, 40\} \end{cases},$$

$$\delta_{43}^J(k) = \begin{cases} 1, & \text{если } I \in \{45, 90, 62\} \\ 0, & \text{если } I \notin \{45, 90, 62\} \end{cases}.$$

Содержательно уравнение (27), как и уравнение (1), отражает долг предприятия по продукции, т. е. дефицит. Первое слагаемое — неудовлетворенный спрос, перешедший с предыдущего периода, который увеличивается на уже оплаченные объемы продукции (второе слагаемое) и уменьшается на объемы продукции, поступившей на склад (третье слагаемое).

Компоненты вектора $\mathbf{b}^+(k)$ (2) характеризуют избыток продукции, т. е. нереализованный её запас, хранящийся на складе. Уже отмечалось, что по дебету счета 43 “Готовая продукция” отражается поступление на склад готовой продукции. По кредиту этого счета отражается выбытие продукции со склада потребителям. Сальдо по аналитическим счетам, открытым для типов продукции к счету 43 “Готовая продукция”, может быть представлено в виде:

$$v^{43:m}(k) = v^{43:m}(k-1) + \sum_I \delta_I^{43}(k) x_{I:m}^{43:m}(k) - \sum_J \delta_{43}^J(k) x_{43:m}^{J:m}(k), \quad (28)$$

$$\text{где } \delta_I^{43}(k) = \begin{cases} 1, & \text{если } I \in \{20, 40\} \\ 0, & \text{если } I \notin \{20, 40\} \end{cases},$$

$$\delta_{43}^J(k) = \begin{cases} 1, & \text{если } I \in \{45, 90\} \\ 0, & \text{если } I \notin \{45, 90\} \end{cases}.$$

Сопоставление уравнения (2) для m -й компоненты вектора $\mathbf{b}^+(k)$ с уравнением (28) показывает их содержательную эквивалентность. Действительно, входящее сальдо в (28) $v^{43:m}(k-1)$ — остаток продукции на складе от предыдущего периода. Второй член — оборот по дебету счета 43 : m — показывает увеличение продукции на складе на объем производства в k -м периоде. Третий член — оборот по кредиту счета 43 : m — реализация продукции. Так как сальдо может быть либо по кредиту, либо по дебету, то автоматически реализуется требование (3).

Величины, значения которых отражаются на аналитических счетах, введенных для индивидуализации средств по видам ресурсов, операциям и производимой продукции могут быть собраны в обычные векторы. Чтобы исключить путаницу, эти

векторы обозначаются соответствующими прописными буквами. Например, вектор оборотов (25) по дебетам аналитических счетов к счету 43 для видов продукции будет иметь вид: $Y^{43}(k) = (y^{43:1}(k), y^{43:2}(k), \dots, y^{43:M}(k))^T$. С учетом преобразования (22) его компоненты

$$y^{43:m}(k) = c_m(k) p_m(k). \quad (29)$$

Они с точностью до масштабного коэффициента — цены единицы продукции $c_m(k)$ — совпадают с объемами производства $p_m(k)$, т. е. имеет место соответствие: $Y^{43}(k) \Leftrightarrow \mathbf{p}(k)$. Точно так же, с точностью до масштабного множителя, устанавливается соответствие между векторами: $V_{43}(k) \Leftrightarrow \mathbf{b}^-(k)$, $V^{43}(k) \Leftrightarrow \mathbf{b}^+(k)$.

Спрос на продукцию не является бухгалтерским объектом и может быть представлен в виде вектора $Y(k)$, компоненты которого определяются по формуле (29) после замены значений $p_m(k)$ значениями $b_m(k)$.

Теперь задача (13) может быть записана через бухгалтерские переменные в следующем виде.

Максимизировать критерий

$$F(k) = \sum_{m=1}^M F_m(k) = \sum_{m=1}^M \{y_{90:m}(k) - y^{90:m}(k)\} = y_{90}(k) - y^{90}(k) \rightarrow \max, \quad (30a)$$

при ограничениях на ресурсы

$$\sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M x_{10.1:r}^{20:r,n,m}(k) \leq v^{10.1:r}(k-1) + x_{15:r}^{10.1:r}(k), \quad r = 1, 2, \dots, R, \quad (30б)$$

и объемы производства:

$$Y^{43}(k) + V^{43}(k) \geq Y(k), \\ Y^{43}(k) - V_{43}(k) \geq Y(k), \quad (30в)$$

где обороты и сальдо детально выражаются через суммы финансовых средств, связанных с производством продукции, описанным выше образом.

Все переменные, используемые в задаче, связываются между собой и с выходными характеристиками уравнениями проводок (21), чем обеспечивается замкнутость задачи.

По регламенту бухгалтерского учета [3] финансовые результаты на счете 90 (его субсчетах) отражаются накопительно в течение года по ежемесячно определяемым результатам $F(k)$, $k = 1, 2, \dots, K$. Поэтому критерий для нескольких периодов и все-

го горизонта планирования может быть представлен в виде

$$G(k) = \sum_{\xi=1}^k F(\xi), k = 1, 2, \dots, K.$$

Задача планирования может решаться рекуррентно. В качестве начального состояния берутся входящие сальдо на соответствующих счетах на начальный период планирования при $k = 0$.

В дополнение к обычным условиям, отраженным в ограничениях (30б) и (30в), бухгалтерская структуризация информации позволяет учитывать в задаче принятия решений актуальное финансовое состояние предприятия.

Схема (см. рис. 1), иллюстрирующая наличие и движение средств предприятия, позволяет сформулировать условия практической реализуемости решений. Например, для приобретения ресурсов необходимы финансовые (оборотные) средства, которые поступают в результате выручки за произведенную и фактически проданную продукцию. Поступившие средства отражаются по дебету счета 51 (последняя операция на рис. 1), а оплата за сырье и другие ресурсы по кредиту этого же счета (первая операция на рис. 1). Отсюда в дополнение к ограничению на запас ресурсов (30б) могут быть определены условия возможности приобретения ресурса, т. е. ограничения на $x_{15:r}^{10.1:r}(k)$, выраженные через наличие денежных средств. Система проводок, отраженная на схемах (см. рис. 1—4), позволяет “протянуть” ограничения к любой важной для решаемой задачи статье расходов и доходов предприятия, включая различные приобретения и обслуживание обязательств.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показана возможность и методика описания и решения задачи объемного планирования на бухгалтерских данных предприятия. Задача планирования приводится к задаче условной оптимизации функции многих переменных, для решения которой могут быть применены методы линейного программирования. Представленная методика позволяет детально исследовать задачи долгосрочного планирования, включая распределение прибыли, оценки влияния внешних и внутренних факторов на эффективность деятельности предприятия, анализа бизнес-проектов и др. В её рамках возможно применение различных (стохастических, нечетких) моделей информации о спросе на продукцию и ценах на продукцию и ресурсы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Л. А. Системное представление финансово-хозяйственной деятельности предприятия // Проблемы управления. — 2003. № 3. — С. 39—48. (www.ipu.ru/period/ru).
2. Кузнецов Л. А. Модель динамики финансовой системы субъекта хозяйствования // Проблемы управления. — 2004. — № 2. — С. 21—30. (www.ipu.ru/period/ru).
3. План счетов бухгалтерского учета финансово-хозяйственной деятельности организаций и Инструкция по его применению. — М.: Юрайт-М, 2003. — 176 с.
4. Юдин Д. В. Математические методы управления в условиях неполной информации. — М.: Сов. радио, 1974. — 400 с.
5. Исследование операций: В 2 т.: Пер. с англ. / Под ред. Дж. Моудера, С. Элмаграби. — М.: Мир, 1981. Т. 1. — 712 с. — Т. 2. — 677 с.

☎ (0742) 32-80-44

E-mail: kuznetsov@stu.lipetsk.ru

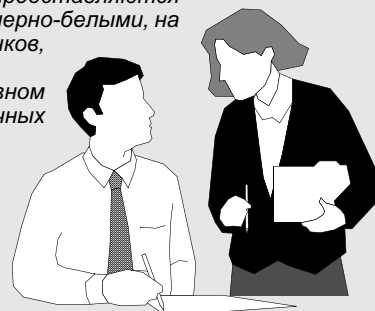


ПРАВИЛА ОФОРМЛЕНИЯ СТАТЕЙ

Статья представляется в редакцию на бумаге в 2-х экземплярах, с аннотацией и направлением организации, а также обязательно в электронном виде на дискете 3,5 дюйма или по электронной почте (не более 2 Мбайт). Аннотация, название статьи и фамилии авторов должны быть представлены также на английском языке. Объем оригинальной статьи не должен превышать 10, обзорной - 18 стр. текста. Текст печатается через 1,5 интервала с одной стороны бумаги формата А4, страницы нумеруются. В электронной форме текст должен быть в редакторе Word97 (не ниже) шрифтом №12 Times New Roman; текст не форматировается, т. е. не имеет табуляции, колонок и т. д. Рисунки должны иметь расширение, совместимое с Word97, или в формате CorelDraw: шрифты представляются отдельно или переводятся в кривые; фотографии должны быть предельно четкими, черно-белыми, на глянцевой бумаге или в формате TIFF с разрешением 300 dpi. Толщина линий рисунков, представляемых в электронной форме - не менее 3 пикселей.

Все буквенные обозначения, приведенные на рисунках, необходимо пояснять в основном или подрисуночном текстах (недопустимы повторные обозначения - в подрисуночных подписях и в тексте). Нумеровать следует только те формулы и уравнения, на которые есть ссылка в последующем изложении. Список литературы (только органически связанной со статьей) составляется в порядке цитирования и дается в конце статьи. Ссылки на литературу в тексте отмечаются порядковыми номерами в квадратных скобках.

В конце статьи следует указать полностью имя, отчество и фамилию автора, ученые степени и звания, должность, место работы, контактный телефон, электронные адреса.



ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ НАЗЕМНОГО КОМПЛЕКСА ОТРАБОТКИ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

Е. А. Микрин, А. С. Кнутов

Ракетно-космическая корпорация “Энергия”, г. Королев

На основе результатов анализа предложена техническая схема интеграции диагностической экспертной системы реального времени с существующими комплексами отработки. Определены задачи встраиваемой экспертной системы и необходимые технические средства для их решения.

ВВЕДЕНИЕ

Проблема создания бортовых вычислительных систем и систем управления космическими аппаратами непосредственно связана с вопросами их наземной отработки. В космической отрасли разработаны и воплощены в реальные установки методики, позволяющие автоматизировать и проводить полномасштабную отработку бортовых управляющих систем, являющихся основным носителем интеллекта создаваемого изделия. Одним из важных инструментальных средств реализации упомянутых методик являются наземные комплексы отработки (НКО) аппаратуры и программного обеспечения бортовых вычислительных систем.

В рамках проекта по разработке и сопровождению Международной космической станции (МКС) в РКК “Энергия” создавались и вводились в эксплуатацию несколько НКО бортового программного обеспечения (ПО) Российского сегмента МКС. За десять лет своего существования НКО постоянно совершенствовались и расширялись их функциональные возможности. В настоящее время три НКО, ориентированные изначально только на отработку бортового программного обеспечения, были модернизированы и доведены до уровня мощных моделирующих комплексов, способных обеспечить ежесуточную верификацию сеансов

связи, предваряющую реальное управление МКС из Центра управления полетами (ЦУП), г. Москва, оперативный разбор замечаний и нештатных ситуаций, потенциально возможных на МКС. Помимо решения своих основных задач, упомянутые НКО применяются для тренировки персонала и отработки технических средств ЦУП (гг. Хьюстон и Тулуза).

Наземные комплексы отработки бортового ПО Российского сегмента МКС в их современном виде задействованы при реализации практически всех международных программ и контрактов по тематике МКС, где необходимо полное или частичное моделирование работы реальных бортовых систем. Программно-аппаратные решения, примененные при создании НКО, успешно распространены на несколько специализированных тренажеров, созданных и развиваемых для российского Центра подготовки космонавтов и для аналогичных структур NASA в Хьюстоне.

Новый уровень развития этих мощных средств состоит в качественном повышении функциональных возможностей НКО путем их дооснащения диагностической экспертной системой (ДЭС), построенной с применением принципов искусственного интеллекта. Существенная особенность такой системы заключается в том, что НКО является системой реального времени, и все модели-



Рис. 1. Типовой программно-аппаратный модуль наземного комплекса отработки ПО бортового комплекса управления МКС:

1 — секция бортовых вычислителей или их эквивалентов; 2 — секция математических моделей бортовых систем; 3 — коммуникационная секция

руемые на ней процессы эмулируются в реальном масштабе времени. В связи с этим рассматриваемая далее ДЭС, как один из компонентов НКО, также работает в реальном времени.

1. УСТРОЙСТВО И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ НАЗЕМНОГО КОМПЛЕКСА ОТРАБОТКИ БОРТОВОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

Все существующие и вновь создаваемые в РКК “Энергия” НКО строятся в соответствии с модульным принципом¹ [1]. Структура типового модуля НКО бортового ПО приведена на рис. 1. Основу модуля составляет аппаратный конструктив (стойка), объединяющий в себе секцию бортовых вычислителей, секцию математических моделей бортовых систем и внешней обстановки и коммуникационную секцию, обеспечивающую связь с другими модулями, специализированными рабочими станциями и внешними абонентами. Внеш-

ними абонентами НКО Российского сегмента МКС (прямыми и опосредованными) являются:

- ЦУП, г. Москва;
- ЦУП, г. Хьюстон;
- ЦУП, г. Тулуза;
- моделирующие стенды Американского сегмента МКС;
- европейские моделирующие стенды для отработки транспортного корабля ATV;
- комплексный моделирующий стенд РКК “Энергия”;
- специализированные моделирующие средства.

Секция бортовых вычислителей включает в себя наземные (технологические) бортовые вычислители или их программно-аппаратные эквиваленты. Технологические варианты бортовых вычислителей полностью репрезентативны относительно своих бортовых прототипов как в смысле электрофизики аппаратных интерфейсов и скорости вычислений, так и в смысле логики, реализуемой в них бортовым ПО.

Программно-аппаратные эквиваленты представляют собой штатные бортовые версии ПО, что позволяет применять данные эквиваленты на лю-

¹ Кульба В.В., Микрин Е.А., Павлов Б.В. Проектирование информационно-управляющих систем долговременных орбитальных станций. — М.: Наука, 2002. — 343 с.



бом уровне моделирования реальных бортовых систем, если со стороны сопрягаемой аппаратуры нет жестких требований по электрофизике аппаратных интерфейсов. Скорость вычислений на эквивалентах не ниже скорости вычислений на штатных бортовых компьютерах.

Секция математических моделей бортовых систем реализуется, как правило, на нескольких вычислительных модулях (процессорных платах), объединяемых между собой по шине VME, а с секцией бортовых вычислителей — по штатному бортовому интерфейсу MIL STD 1553 (ГОСТ 26765.52—87). Число интерфейсов между секцией бортовых вычислителей и секцией математических моделей в основном повторяет бортовую схему взаимодействия бортовой вычислительной системы (БВС) с реальными системами.

Математические модели имитируют работу бортовых систем (БС) и динамику изменения внешней обстановки (координаты звезд и Солнца, начальная и текущая ориентация станции, положение ее внешних элементов конструкции и др.). В состав моделируемых бортовых систем входят:

- бортовые приборы и автоматика управления;
- аппаратура системы движения и навигации;
- двигательная установка и ее агрегаты;
- силовые гироскопы поддержания ориентации (гиродины);
- системы сближения, стыковки и перестыковки;
- системы энергоснабжения и электропитания;
- системы обеспечения теплового режима;
- системы обеспечения жизнедеятельности экипажа;
- телеметрическая система;
- радиосистемы;
- системы Американского сегмента;
- системы Европейского транспортного корабля и др.

Результаты моделирования, выраженные в сигналах, параметрах и расчетных величинах, поступают в секцию бортовых вычислителей, как правило, по штатным аппаратным интерфейсам и обрабатываются бортовыми алгоритмами управления. Бортовые алгоритмы в соответствии с заложенной в них логикой формируют команды управления, программные телеметрические параметры и сообщения. Этот замкнутый контур моделирования доступен для наблюдения со стороны специализированных рабочих станций разработчиков бортовых алгоритмов и испытателей. Связь с ними осуществляется по интерфейсу Ethernet (TCP/IP) через аппаратуру коммуникационной секции.

Рабочие места испытателей и разработчиков позволяют задавать начальные условия и сценарии моделирования. Имеется возможность получать

бортовую телеметрию и любые другие бортовые и модельные параметры, возможность вмешательства в логику функционирования замкнутого контура обработки, изменения значений отдельных параметров, изменения режима работы бортового или модельного ПО.

В рамках модельной секции, помимо формирования собственно моделей, решаются задачи функционального взаимодействия с внешними абонентами (обмен данными с внешними абонентами).

На рабочих станциях реализуется интерфейс оператора в виде технологических кадров отображения информации и средства управления испытаниями. Имеется также модель ЦУП, г. Москва (ЦУП-М), где могут использоваться кадры отображения, аналогичные используемым в штатной работе ЦУП-М и необходимые средства выдачи команд на Российский сегмент МКС.

Функционирование НКО поддерживается файловым сервером, на котором хранятся версии бортового и модельного ПО, многочисленные сценарии проведения испытаний, технологическая информация и ПО, загрузчики, анализаторы, архивы и базы данных различного назначения. Функциональная схема НКО Российского сегмента МКС приведена на рис. 2.

2. ФУНКЦИИ ДЭС РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ВО ВЗАИМОДЕЙСТВИИ С НКО

Современные космические аппараты и комплексы проектируются и строятся с учетом высоких требований по надежности, живучести и безопасности. Однако такие технические объекты, как станция “Мир” или МКС, в силу своей масштабности и длительного времени пребывания на орбите проходят несколько стадий наращивания и усложнения уже вне Земли. Сложнейший технический объект за время своего существования на орбите постепенно вбирает в себя не только все новые и новые поколения аппаратуры, но и результаты работы инженерных школ разных стран — участников проекта. В этих условиях затруднительно говорить о стопроцентной гарантии надежности и безопасности изначально заложенных технических решений. Основной метод верификации каждого нового шага развития орбитальных станций заключается в наземном имитационном моделировании. Усложнение технической сути и неуклонный рост числа параметров, подлежащих верификации в различных полетных ситуациях, ставит вопрос о новом уровне автоматизации процесса отработки и, особенно, о новом уровне решения задачи анализа результатов моделирования, под которым понимается оснащение НКО средствами

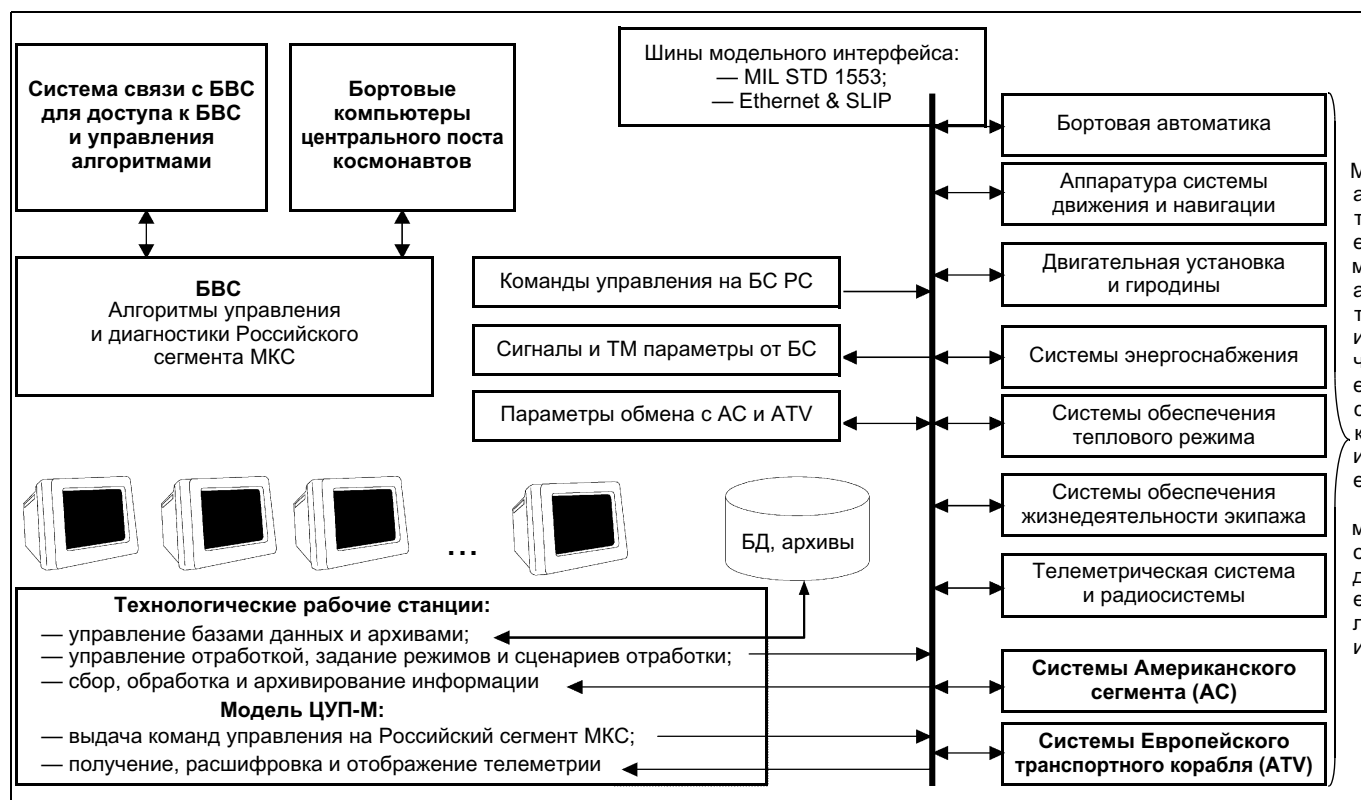


Рис. 2. Функциональная схема НКО Российского сегмента МКС

анализа и аналитической обработки результатов имитационного моделирования, которые удовлетворяют следующим требованиям:

- способность оценивать по различным критериям входные массивы информации, исчисляемые десятками тысяч параметров;
- способность разносторонней оценки ключевых параметров, определения их достоверности и соответствия реальной бортовой обстановке не только прямым, но и косвенным путем;
- способность оперативного автоматического поиска первопричин возможных отклонений от нормы;
- способность выработки обобщенных заключений о текущей обстановке и рекомендаций по управлению.

Этим новым техническим средством контроля, диагностики и советчиком по управлению в нештатных ситуациях может выступать диагностическая экспертная система, построенная на принципах искусственного интеллекта и работающая в режиме реального времени (ДЭС РВ), тесно взаимодействуя со средствами существующих НКО.

3. СОПРЯЖЕНИЕ ДЭС РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И НКО

Связь модельной секции и секции бортовых вычислителей осуществляется, как правило, по штатным бортовым интерфейсам, по которым передается полный трафик команд управления, телеметрические данные, вычисляемые параметры и параметры состояния. В настоящее время основным интерфейсом, сопрягающим бортовую вычислительную систему с ее объектами управления — бортовыми системами, является цифровой мультиплексный канал MIL STD 1553 (ГОСТ 26765.52—87). На Российском сегменте МКС обмен данными внутри распределенной вычислительной системы и ее абонентами ведется по пятнадцати дублированным шинам MIL STD 1553. Несколько из них (до семи) несут дополнительную нагрузку по информационному обмену Российского сегмента с Американским сегментом и кооперируемыми объектами (“Союз”, “Прогресс” и Европейский транспортный корабль АТВ).

Для полноты контроля и анализа всех бортовых параметров со стороны ДЭС РВ, необходимо ее подключение именно к шинам MIL STD 1553. Предлагаемая схема объединения ДЭС реального времени и НКО приведена на рис. 3. Предполага-

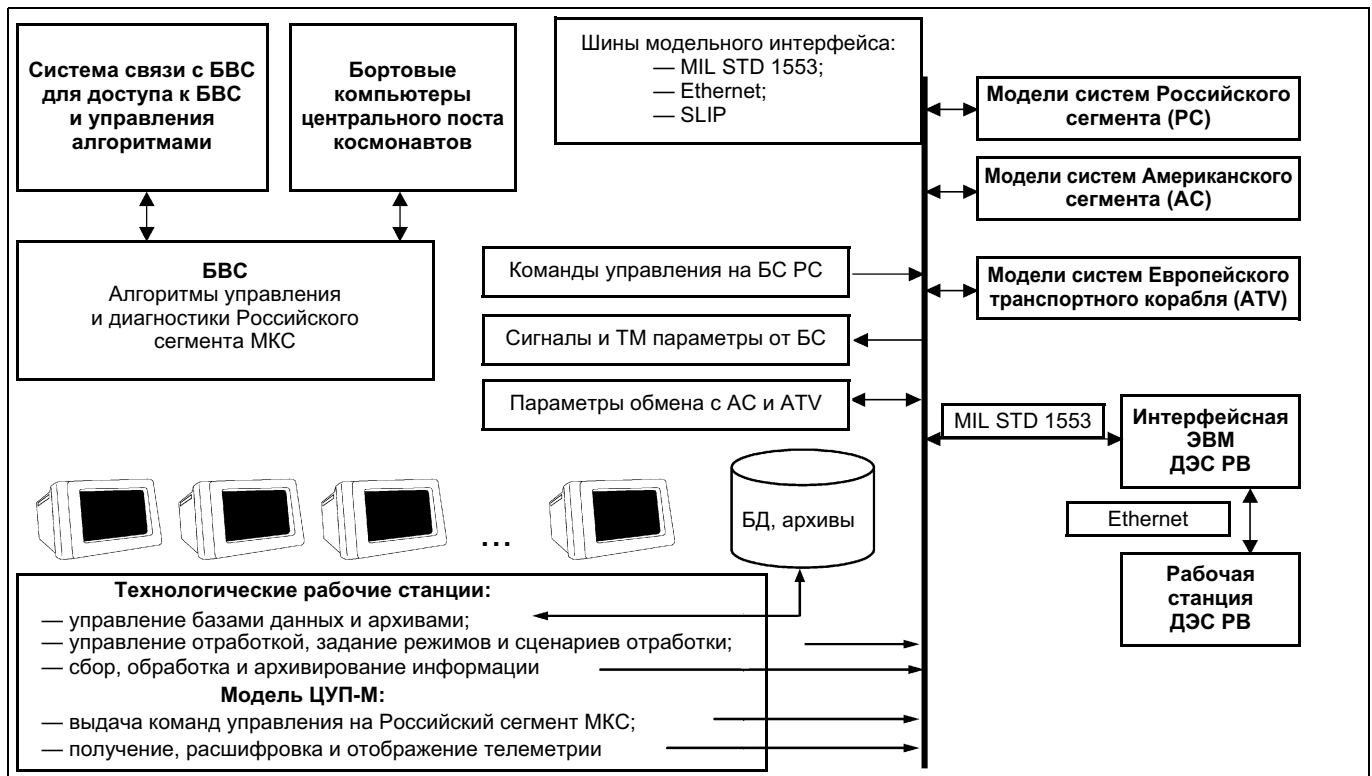


Рис. 3. Функциональная схема НКО с экспертной системой

ется двухэтапное взаимодействие ДЭС реального времени и НКО. Непосредственный доступ к специфическим бортовым каналам обмена осуществляется интерфейсной вычислительной машиной ДЭС РВ. Собственно интеллектуальный контроль, диагностика и выработка рекомендаций производятся на отдельной рабочей станции ДЭС РВ, реализующей технологии искусственного интеллекта. Рабочая станция взаимодействует с интерфейсной ЭВМ стандартными сетевыми интерфейсами на базе Ethernet (TCP/IP, UDP и FTP).

Интерфейсная ЭВМ помимо чисто аппаратного сопряжения с шинами данных НКО осуществляет предварительную обработку бортовой информации, приводя ее к виду, удобному для восприятия экспертной системой. И наоборот, выводы экспертной системы, выраженные, как правило, в текстовом виде, приводятся к формату представления, доступному для восприятия бортовым и модельным программным обеспечением НКО.

4. ИНФОРМАЦИОННОЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ДЭС РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ И НКО

В информацию, воспринимаемую от НКО интерфейсной вычислительной машиной ДЭС реального времени, входят:

- информация о состоянии бортовых систем, фиксируемая алгоритмами управления;
- информация о физических параметрах, получаемых бортовой вычислительной системой от моделей бортовой аппаратуры;
- полный поток телеметрической информации;
- полный объем команд управления, выдаваемых на бортовые системы от автоматических алгоритмов и от персонала ЦУП.

Информация от НКО является разнородной по своему смыслу и разнотипной по форматам представления. Поэтому необходимы её селекция и унификация до передачи её полного объёма на обработку интеллектуальному компоненту ДЭС РВ.

Кроме того, поскольку ДЭС должна работать в режиме реального времени, предназначенные для обработки объёмы информации весьма существенны, а применение суперкомпьютеров в НКО в обозримом будущем не предполагается, возникает необходимость максимально сократить и упростить (формализовать) базу знаний ДЭС РВ. Для этого на интерфейсную ЭВМ возлагается задача по селекции и систематизации данных от НКО и формирование на их основе формализованных структур — логических координат функционального пространства управления.

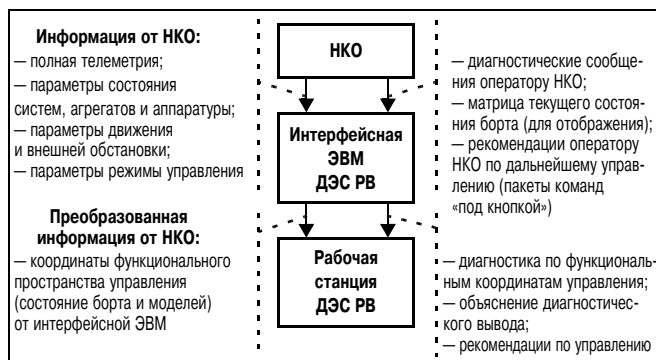


Рис. 4. Схема взаимодействия ДЭС реального времени и НКО

Такое формализованное представление информации существенно облегчает ее дальнейшую обработку на рабочей станции ДЭС и способствует повышению эффективности использования её базы знаний.

Пройдя этап предварительной обработки, бортовая и модельная информация в табличной форме передается на рабочую станцию ДЭС, где выполняется углубленный анализ текущей информации от НКО с применением механизмов дедуктивного вывода. Результаты работы ДЭС РВ:

— обобщенная оценка текущего состояния работы бортовых систем и процесса управления, выраженная в категориях “норма”, “допустимо” и “не норма”;

— цепочка логического вывода, приведшая к тому или иному обобщенному заключению (объяснение вывода);

— рекомендации по дальнейшему управлению процессом моделирования, выраженные в категориях “продолжать работу”, “парировать ситуацию X” и “остановить процесс”.

Результаты работы интеллектуального компонента ДЭС РВ представляются также в формализованном виде и передаются на интерфейсную ЭВМ.

На интерфейсной ЭВМ должны быть выполнены преобразования:

— “объяснения” ДЭС РВ в форму сообщений оператору НКО;

— рекомендаций вида “парировать ситуацию X” и “остановить процесс” в цифровые пакеты команд управления, непосредственно воспринимаемых средствами НКО и готовых к немедленному исполнению оператором НКО.

Схема информационного взаимодействия ДЭС реального времени и НКО приведена на рис. 4.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследований показали, что применение диагностической экспертной системы в наземном комплексе обработки ПО МКС способствует достижению нового уровня качества и надежности создаваемых космических систем.

☎ (095) 513-63-46

E-mail: Eugeny.Mikrin@rsce.ru



Новая книга

Бурков В.Н., Новиков Д.А. Как управлять организациями. – М.: Синтег, 2004. – 400 с.

Монография посвящена описанию механизмов управления – процедур принятия управленческих решений. Ее цель заключается в демонстрации необходимости и целесообразности применения математических моделей для повышения эффективности функционирования организаций.

Описаны более тридцати типовых механизмов (реализующих функции планирования, организации, стимулирования и контроля). Их совокупность может рассматриваться как “конструктор”, элементы которого позволяют создавать эффективные системы управления.

Владимир Николаевич Бурков – д-р техн. наук, профессор, заведующий лабораторией активных систем Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, действительный член РАЕН, лауреат Государственной премии СССР и премии Дж. Фон-Неймана. Более тридцати лет работает в области управления большими системами. Вице-президент Российской ассоциации по управлению проектами, основатель теории активных систем, один из ведущих специалистов по управлению социально-экономическими системами, в том числе, по анализу и синтезу организационных механизмов.

Дмитрий Александрович Новиков – д-р техн. наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории активных систем Института проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, профессор кафедры “Проблемы управления” Московского физико-технического института. Автор многих работ по теории управления социально-экономическими системами, в том числе, по теории игр, принятию решений и механизмам управления организационными системами.

IV МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ “КОГНИТИВНЫЙ АНАЛИЗ И УПРАВЛЕНИЕ РАЗВИТИЕМ СИТУАЦИЙ” CASC’2004

Конференция состоялась 18—21 октября 2004 г. в Москве, в Институте проблем управления им. В. А. Трапезникова РАН.

Её основные тематические направления:

- основы и проблемы когнитивного подхода;
- когнитивное моделирование развития социально-экономических ситуаций;
- рефлексивные методы и технологии в информационном управлении;
- когнитивные методы в управлении ситуациями;
- экспертные методы получения знаний;
- информационные и когнитивные технологии в системах поддержки принятия решений.

В своем вступительном слове д-р техн. наук В. И. Максимов дал анализ результатов конференций CASC’2001 — CASC’2003 и пояснил смысл понятия “когнитивный анализ” и связанных с ним метафор. В середине XVII в. знаменитый философ и математик Рене Декарт высказал афоризм, ставший классическим: “*Cognito ergo sum*” (мыслю, следовательно, существую). Латинский корень *cog-nito* имеет интересную этимологию. Он состоит из частей *co-* (вместе) + *gnoscerе* (знаю). В английском языке существует целое семейство терминов с этим корнем — *cognition*, *cognize* и др.

В той традиции, которая у нас обозначена термином “когнитивное”, проглядывает только одно “лицо” мысли — ее аналитическая сущность (способность разлагать целое на части) декомпозировать и редуцировать реальность. Эта сторона мышления связана с выявлением причинно-следственных связей (каузальностью), что свойственно рассудку. Видимо, Декарт абсолютизировал рассудок в своей алгебраической системе. Другое “лицо” мысли — ее синтезирующая сущность (способность конструировать целое из непредвзятого целого), воспринимать реальность интуитивных форм, синтезировать решения и предвосхищать события. Эта сторона мышления, выявленная в философии Платона и его школы, присуща разуму человека. Не случайно и в латинских корнях мы находим два основания: *ratio* (рациональные отношения) и *reason* (разумное проникновение в сущность вещей). Разумное лицо мысли берет свое начало от латинского *rerі* (думать), восходящего к старолатинскому корню *ars* (искусство), затем превратившемся в современное понятие *art*. Таким образом, *reason* (разумное) — это мысль,

родственная творчеству художника. Когнитивность как “разум” означает “способность думать, объяснять, обосновывать действия, идеи и гипотезы”. Для “сильной” когнитивности существенен особый, конструктивный статус категории “гипотеза”. Именно гипотеза является интуитивной отправной точкой дедуцирования образа решения. При рассмотрении ситуации лицо, принимающее решение, обнаруживает в ситуации некоторые негативные звенья и структуры (“разрывы” ситуации), подлежащие замещению новыми объектами, процессами и отношениями, устраняющими отрицательное воздействие и создающими явно выраженный позитивный эффект. В этом заключается суть инновационного управления. Параллельно с обнаружением “разрывов” ситуации, часто квалифицируемых как “вызовы” или даже “угрозы”, субъект управления интуитивно представляет себе некоторые “позитивные ответы” как целостные образы состояния будущей (гармонизированной) ситуации.

Когнитивный анализ и моделирование являются принципиально новыми элементами в структуре систем поддержки принятия решений. Технология когнитивного моделирования позволяет исследовать проблемы с нечеткими факторами и взаимосвязями, учитывать изменения внешней среды, использовать объективно сложившиеся тенденции развития ситуации в своих интересах. Такие технологии завоевывают все большее и большее доверие у структур, занимающихся стратегическим и оперативным планированием на всех уровнях и во всех сферах управления.

Основы и проблемы когнитивного подхода. В докладе директора Института проблем управления РАН, академика ГАН И. В. Прангишвили “Когнитивный анализ моделей развития российского общества и управления его эффективностью” отмечено, что полезно применить когнитивный подход к анализу развития российского общества и управления его эффективностью. Основной задачей нашего правительства и властной элиты на сегодня должно стать отстаивание национальных интересов государства и повышение общей эффективности управления выбранной социально-экономической моделью общества. Нелишне вспомнить, что в свое время, особенно в кризисных ситуациях, тоталитарная и авторитарная модели государства и

общества оказались суперэффективными и намного более эффективными, чем демократическая модель. Более того, они стали образцом для доброй половины мира. Тоталитаризм и авторитаризм, в принципе, обеспечивали возможность дальнейшего развития общества, как это мы видим сегодня на примере Китая и Вьетнама. Сегодня отсутствует осмысленный стратегический путь развития России. Для России пока еще не сформулирована и не обоснована четкая стратегическая или высшая цель на длительный период развития страны. Обуздание инфляции и удвоение ВВП за 7 лет — это не цель, а лишь средство для улучшения экономики страны. Пока у страны нет стратегической цели развития, у нее не может быть и стратегического управления. Очевидно, если у России появится стратегическая цель, то возникнут и критерии для оценки действий Президента, правительства, политиков и чиновников, и одновременно появится согласие в обществе.

Сегодня многие развитые страны “раскручивают” экономику, основанную на знании и на эффективном управлении. Самым ценным товаром государства становится интеллектуальная собственность. По-видимому, достойной целью для России сегодня может служить создание на базе российского интеллекта новых прорывных технологий. Страну сделают великой и прогрессивной, в первую очередь, новые знания, интеллект, воля и дух народа.

Сутью современной и будущих войн становится противоборство интеллектуалов. В таких условиях наиболее целесообразными способами достижения геополитических целей являются опосредованные и нетрадиционные действия и, следовательно, огромную значимость приобретает информационное оружие. Существуют две концепции развития стратегических вооружений с разными ролями в них стратегического информационного оружия (СИО). Стратегическое информационное оружие первого поколения является составной частью стратегических вооружений наряду с другими видами стратегического оружия и обычным вооружением; СИО второго поколения представляет собой независимый, кардинально новый тип стратегического оружия, появившийся в результате информационной революции и применяемый на новых стратегических направлениях (например, экономическом, политическом, идеологическом и др.). Время воздействия таким оружием может составлять гораздо больший срок — месяц, год и более. Оно способно противостоять многим другим видам стратегического оружия и будет составлять ядро стратегических вооружений. Ситуации, складывающиеся в результате применения СИО второго поколения, представляют собой угрозу безопасности России и характеризуются неопределенностью, неясной и нечеткой структурой, влиянием большого числа разнородных факторов и наличием множества альтернативных вариантов развития. Это приводит к

необходимости применения нетрадиционных методов, позволяющих изучать геополитические, информационные и другие процессы, протекающие в России и мире, в совокупности и взаимодействии как между собой, так и с внешней нестабильной средой.

Когнитивное моделирование предназначено для структуризации, анализа и принятия управленческих решений в сложных и неопределенных ситуациях (геополитических, внутривнутриполитических, военных и т. п.), при отсутствии количественной и (или) статистической информации о происходящих процессах в таких ситуациях. Применение технологии когнитивного моделирования позволяет действовать на опережение и не доводить потенциально опасные ситуации до угрожающих и конфликтных, а в случае их возникновения — принимать рациональные решения в интересах России. С позиций науки управления сегодня особенно важно применение мягкого резонансного управления сложными социально-экономическими системами, искусство которого состоит в способах самоуправления и самоконтроля систем. Слабые, так называемые резонансные явления, чрезвычайно эффективны для “раскрутки” или самоуправления, так как они соответствуют внутренним тенденциям развития сложных систем. Основная проблема заключается в том, как малым резонансным воздействием подтолкнуть систему на один из собственных и благоприятных для системы путей развития, как обеспечить самоуправление и самоподдерживаемое развитие (“самораскрутку”). При управлении различными системами важное значение имеют как системный подход, так и ситуационный, когда ситуацией надо управлять. Ситуационный подход и метод сценариев наиболее разработаны для управления, органичное соединение которых дает наилучший результат в управлении.

В докладе профессора Международного института менеджмента ЛИНК, д-ра техн. наук А. Г. Теслиновой и консультанта ИНЭСП Е. А. Теслиновой «Воплощение “прожекторной” теории познания в системах управления знаниями» развивается взгляд на объективизацию знаний в организациях, основанный на так называемой “прожекторной” теории познания К. Поппера. Выделяются ключевые положения этой теории в применении к процессам управления знаниями в организациях, обосновывается конструктивная логика познавательного процесса в организациях, обеспечивающая объективизацию знаний в них, предлагаются подходы к практическому воплощению этой логики, чтобы на основе когнитивного анализа процессов управления знаниями в организациях выявить возможности для объективизации этих знаний.

В докладе д-ра филос. наук М. П. Бузского “Ситуация как протоформа конституирования предметности” ситуация рассматривается как способ проявления данной среды для конкретных субъек-



тов, поскольку в форме ситуации из среды “извлекается” такая компоновка содержания, которая создает своеобразный “континуум”, обеспечивающий непрерывность и гарантированность объективации замысла в проекте и предметном воплощении. Поскольку ситуация всегда существует как социально оформленная реальность, она так или иначе приобретает статус своеобразной предметности через создание внутренне связанной смысловой среды, что открывает и обеспечивает как возможности, так и границы освоения и преобразования ситуации. Прежде всего, ситуация начинает соотноситься с теми целями, в которых происходит самоопределение и деятельность различных социальных субъектов. Это значит, что ситуация приобретает ценность не как данное, а как благоприятные условия для возможных преобразований и реконструкций.

Феномен ситуации как материал и модель, и предмет мысли, на котором апробируются как методология, так и принцип целостности, как отмечено в докладе д-ра филос. наук *Э. В. Барковой* “Ситуация как целостность: холистская парадигма”, включает в себя не одно, а все эти значения, поскольку в нем интегрируются становление и ставшее, данность и заданность. Известно, что “холистская позиция” заключается в приоритетном рассмотрении целого с точки зрения возникающих новых качеств или целостных свойств, отсутствующих у элементов, составляющих систему; холизм перспективен при воссоздании целостной картины объекта или явления, особенно в функциональном отношении. Убедительную аналогию этому процессу можно видеть в процессе самовосстановления выздоравливающего организма, преодолевающего внутренний дефект, например, какое-либо воспаление или инфекцию, направленные на его разрушение. Целостность организма в данном случае означает его способность блокировать пораженные участки через усиление тех функций, которые замещают функции этих участков, причем совсем необязательно непосредственно, а, скажем, через механизм иммунитета. Иначе говоря, целостность в ситуации болезни оказывается способной “подчинять” своему режиму самые разные части, корректируя их бытие, функционирование и развитие.

В докладе генерального директор ООО “Информационный менеджмент”, канд. психол. наук *Л. П. Хохловой* “Целостно-динамическая концепция и технологии стратегического управления развитием сложных социально-экономических объектов” отмечено, что технологии когнитивного анализа и моделирования в рамках целостно-динамической концепции неизбежно предполагают перенесение центра своего внимания и действий на акаузально-смысловые атрибутивные связи синергетически взаимодействующих факторов. К таковым можно отнести фактор социально-экономических и культурологических условий развития

объекта, традиционно рассматриваемый как фактор некой внешней среды. Но помимо этого присутствуют явные и скрытые логики и динамика развития собственно социально-экономического объекта. И если эти факторы традиционно заметны, то тут совсем уж неясна роль паттернов, несущих имплицитную информацию из генеалогических древ субъектов стратегического управления, и весьма существенная роль той самой неизвестности при построении когнитивной карты. Стратегические усилия обретают совершенно иной смысл, если учитывать, что стратегическое мышление требует особого “зрения”.

Когнитивное моделирование развития социально-экономических ситуаций. С докладом “Задача концептуального перспективного когнитивного анализа для оценки социально-экономических последствий повышения качества жизни в стране”, выступил советник г. Москвы, зав. лаб. ИПУ РАН, д-р техн. наук *К. Б. Норкин*. Были заслушаны сообщения сотрудников и аспирантов лаборатории “Когнитивные информационные технологии” ЮНЦ РАН во главе с д-ром техн. наук *Г.В. Гореловой*.

В докладе канд. физ.-мат. наук *Е. Н. Захаровой* “Анализ симплициальных структур когнитивных карт социотехнических систем” отмечено, что на когнитивных моделях проводятся разнообразные исследования, по результатам которых можно разработать необходимые управленческие решения, направленные на совершенствование изучаемых объектов. Помимо традиционных исследований (например, сценарный анализ, анализ путей и циклов, анализ устойчивости) предлагается проводить структурный анализ социотехнической системы, основанный на анализе симплициальных комплексов. Такой анализ позволяет судить о связности системы, а также предложить и обосновать формализованные правила выбора целевых и управляющих вершин. Кроме того, определение числа симплексов и их структуры, анализ связности системы позволяют выдвигать обоснования для решения задач декомпозиции и композиции изучаемой социотехнической системы, выявлять вершины, более всего влияющие на процессы в системе и которые можно выбирать в качестве управляющих.

В докладе *А. А. Садовникова* “Когнитивное моделирование процессов совершенствования коллективных субъектов решений” рассматривается модель управления жилищным фондом с использованием института товарищества собственников жилья. Выполнено исследование структурных свойств модели с помощью метода структурно-целевого анализа, позволяющего определить наличие противоречий среди целевых характеристик, и сценарного моделирования.

В докладе *С. С. Солохина* “Когнитивное представление функционирования рекреационной системы” рассмотрено когнитивное моделирование в качестве методологической основы анализа и

прогнозирования развития рекреационной системы. В качестве объекта анализа выбрана Ростовская область с ее уникальными рекреационными ресурсами.

Рефлексивные методы и технологии в информационном управлении. В докладе д-ра техн. наук *Д. А. Новикова* и канд. физ.-мат. наук *А. Г. Чхартисвили* “Принятие решений, рефлексия, информационное управление” отмечено, что, если субъектов несколько, и выигрыш каждого зависит от выборов всех, то ситуация усложняется. Для того чтобы выбрать собственное действие субъект должен “предсказать”, какие действия выберут его оппоненты. Моделями совместного принятия решений субъектами, интересы которых не совпадают, занимается теория игр, одна из основных задач которой состоит в предсказании решения игры — устойчивого в том или ином смысле исхода взаимодействия рациональных субъектов (игроков, агентов). В докладе *А. Г. Чхартисвили* “О теоретико-игровом моделировании информационного управления” рассмотрены модель организационной (активной) системы и принципы управления ее параметрами.

В докладе канд. техн. наук *Д. А. Кононова*, д-ра техн. наук *В. В. Кульбы* и канд. техн. наук *А. Н. Шубина* “Управление в информационном поле социально-экономических систем” рассмотрены проблемы согласования методологии моделирования, сценарного анализа и синтеза нового объекта исследований — информационного управления в социально-экономических системах.

В докладе д-ра техн. наук *Т. А. Таран* и канд. техн. наук *В. Н. Шемаева* “Метод моделирования рефлексивного управления на основе когнитивных карт” отмечено, что для анализа и управления развитием ситуации в социально-экономических и политических системах в последнее время все более широко применяются методы когнитивного моделирования. Математический аппарат, основанный на нечетких когнитивных картах, позволяет выполнять анализ ситуации и синтез стратегий управления. Однако до сих пор не созданы средства, позволяющие учитывать свойства рефлексии и формировать стратегии рефлексивного управления на основе когнитивных моделей. Отмечена необходимость кооперации когнитивного моделирования с моделями рефлексивного управления, разработанными в рамках математической психологии под руководством В. Лефевра.

Когнитивные методы в управлении ситуациями. В рамках этой тематики были представлены доклады д-ра техн. наук *Е. К. Корноушенко* “Применение регрессионных моделей для управления статическим многомерным объектом с неизвестной характеристикой”, канд. физ.-мат. наук *В. Г. Клепарского* “Саморазвитие краткосрочных подструктур каскадно-иерархических систем”, канд. техн. наук *А. Ю. Заложнева* “Формирование оптимальных механизмов (процедур) функционирования — этап

эволюции хозяйствующего субъекта”. В докладе *Д. В. Петрова* “Применение генетических алгоритмов для построения когнитивной карты на основе баз данных ERP-систем” отмечено, что для когнитивных технологий полная модель данных, хранящаяся правильно построенной и корректно в полной мере функционирующей АСУ, учитывающей и фиксирующей состояние внешней среды, могла бы служить незаменимым и наиболее полным источником входных данных для построения качественной когнитивной карты, что позволило бы значительно упростить и удешевить применение когнитивных методик. Это позволило бы массово применять когнитивные технологии для управления развитием ситуации на средних и малых предприятиях.

Экспертные методы получения знаний. В докладе д-ра техн. наук *А. А. Дорофеюка* и генерального директора СК ООО “Итера-гарант” *Ю. В. Шипилова* “Экспертно-классификационные методы анализа и совершенствования социально-экономических систем управления” сформулированы основные принципы коллективной многовариантной экспертизы и представлена методика формирования экспертных комиссий на базе выделенных принципов. В докладе д-ра техн. наук *Н. А. Абрамовой* и *С. В. Ковриги* “О рисках, связанных с ошибками экспертов и аналитиков” рассмотрен анализ рисков, основанный на изучении практики применения экспертных методов и теоретических построениях. К последним относятся модель действия стереотипов (на основе работы Р. Чалдини), обобщенная модель эксперта-аналитика, оригинальная концепция схем представления знаний, ориентированных на корректность. Рассмотрена ситуация разрешения конфликта между общей схемой представления знаний эксперта-аналитика, лежащей в основе некоторой интеллектуальной технологии, и конкретным знанием конкретного эксперта-аналитика.

В докладе зам. директора НИИ информационных технологий, д-ра техн. наук *И. П. Беляева* и *А. Жуковской* “Сравнительный анализ методов измерения предпочтений” отмечено, что каждый стимул можно представить точкой в некотором пространстве, проекции этой точки на оси координат соответствуют значениям факторов, характеризующих данный стимул. Чем больше значение проекции, тем большим значением фактора обладает стимул. Мера сходства между двумя стимулами обратна расстоянию между соответствующими им точками. Чем ближе стимулы друг к другу, тем выше мера сходства между ними (и ниже мера различия), далеким точкам соответствует низкая мера сходства. Чтобы точным образом измерить близости, необходимо ввести метрику в искомом пространстве. Для этого авторы воспользовались двумя наиболее распространенными метриками — метрикой Минковского и евклидовой метрикой в качестве меры сходства между элементами множе-



ства результатов Интернет-опроса и результатами каждого из исследованных в экспериментальной процедуре методов измерения.

В докладе канд. техн. наук *А. Л. Чернявского* и генерального директора СК ООО “Итера-гарант” *Ю. В. Шипилова* “Методы структурной экспертизы для принятия решений в страховом бизнесе” предложен метод поддержки принятия решений в организационных системах в плохо формализуемых ситуациях, когда основную роль при принятии решений играют мнения экспертов — высококвалифицированных специалистов с большим опытом работы. Метод многовариантной экспертизы учитывает, что эксперты имеют в организации свои интересы и поэтому не могут быть беспристрастными.

Информационные и когнитивные технологии в системах поддержки принятия решений. В докладе д-ра техн. наук *А. Н. Райкова* «Когнитивные аспекты “Электронного либерализма”» отмечено, что на заре цивилизации был заложен методологический фундамент для оперирования абстрактными явлениями (феноменами) совместно с анализом природы являемых вещей, объемный аспект рассмотрения событий начал углубляться структурно-содержательными, конструктивистскими построениями. Свое этапное завершение углубленный феноменологический подход получил в трудах Э. Гуссерля, конструктивно подключившего к анализу феноменов редуцирующую интуицию и предложившего при этом не ограничиваться обыденными рациональными суждениями и верованиями, а отдать предпочтение выделению элементов чистого сознания, рефлексивно заноса “в скобки” трансцендентальные положения реальности. Это предложение в информационный век может оказаться как никогда полезным. Суть информационных технологий в групповых процессах состоит в уменьшении иррационального, раскрытия трансцендентного при построении абстрактных обобщений и, тем самым, усилении возможности обратной трансформации достижений самоорганизации в интересах конкретных сотрудников. Формально и потенциально такая возможность существовала и во времена неинформационного общества, однако необозримость когнитивных связей, ограничения личного времени и территориальная разобщенность препятствовали их успешному учету и анализу.

Автор доклада “Дельта технология — технология понимания и развития” *Б. М. Булюктов* считает, что смотреть на то, как человек пытается понять сложную проблему, так же смешно, как наблюдать за человеком, пытающимся руками поднять пяти-тонную плиту. Не имея физической возможности объять необъятное, человек подменяет корректный анализ проблемной области её интерпретацией через понятия собственного самоутверждения,

авторитета, стабильности, благосостояния и чувственно-эмоциональную сферу. Такая структура называется субъективной сферой понимания, и работа в ней человека является не его виной, а его бедой, поскольку часто человек искренне желает разобраться в проблемах и принять лучшее решение.

В докладе д-ра техн. наук *Е. И. Артамонова* “Структурная организация интерактивных систем” отмечено, что для проектирования и создания интерактивных систем (ИС) требуются новые методы формализации процесса выбора их структуры, систематизации, стандартизации и согласования структур данных для обмена информацией внутри ИС и с внешней средой. Эти методы существенным образом определяют эксплуатационные характеристики создаваемых ИС. Технология выбора лучшей структурной организации систем основана на классификации и систематизации структур данных, базовых типовых решений по выполнению отдельных операций в алгоритмах функционирования ИС. Для поиска наилучших вариантов построения систем по наперед заданным критериям структура алгоритма функционирования разделяется на части — локальные алгоритмы (ЛА). Одному ЛА всегда соответствует набор блоков — локальных структур, реализующих этот ЛА с разными показателями качества. Таким образом, создается структура первого набора вариантов реализаций системы.

В докладе канд. физ.-мат. наук *С. П. Мишина* “Модель оптимальной структуры контроля производственной цепи” дана постановка задачи о надстройке оптимальной иерархии. Под оптимальностью понимается минимизация функции затрат, которая определяется, исходя из возможных механизмов управления (например, параметр функционала может зависеть от степени стандартизации, которая возможна в данной сфере деятельности, поскольку развитая система стандартов облегчает работу менеджеров, снижая их затраты). По мере стабилизации внешней среды (введения стандартов) один менеджер может с приемлемыми затратами выполнять все больший объем работы, что приводит к росту числа непосредственных подчиненных и уменьшению числа уровней иерархии.

Полный обзор конференции CASC’2004 будет представлен на сайте Института проблем управления РАН www.ipu.ru (см. страничку лаборатории № 51). Там же можно будет найти информационные материалы по организации Международной конференции CASC’2005, которую намечено провести в октябре 2005 г.

*В. И. Максимов,
Н. В. Тер-Егизарова*

☎ (095) 334-78-00

E-mail: maxi@ipu.ru



CONTENTS & ABSTRACTS

THE PROBLEMS OF CONTROL PARADIGM GLOBALIZATION IN THE MATHEMATICALLY UNIFORM FIELD OF COMPUTER INFORMATION. PATH I. CYBERNATION OF SOCIOSYSTEM.	2
--	---

Zatuliveter Yu. S.

In the conditions of a global information space, the special features of the formation of a social metasystem and its conversion into a new state are examined. 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 tree-type structures calculus is justified. An approach to the global control problems solution in the mathematically uniform field of computer information is formed.

TO THE PROBLEM OF SEMANTICAL INFORMATION THEORY DEVELOPMENT.	11
---	----

Lezhava G. K., Kamkamidze I. Sh., Verikishvili Z. I.

An approach to the problem of semantical information theory is considered. The approach is based on the application of an associative inductive inference system as an information receiver and enables to discern two information types: the database-forming information and the current topical information. A quantitative measure is defined for these two types of information.

ON THE DUALITY OF NONLINEAR DYNAMIC SYSTEMS.	13
---	----

Zhirabok A. N.

The duality of observability and controllability properties for nonlinear continuous and discrete dynamic systems is established.

PRORER MOTIONS OF NONLINEAR DYNAMIC DIGITAL PLANTS.	18
--	----

Chadeev V. M.

The digital dynamic discrete-time systems are considered where admissible values of inputs and outputs are constrained by the fixed number of bit. The number of possible structures is evaluated and the computer simulation results are presented. The paper shows that proper asymptotic response may belong to one of three types: zero, constant, or periodic.

VARIABLE-STRUCTURE ADAPTIVE CONTROL SYSTEMS WITH PAIRED AND NONLINEARLY DEFORMABLE SWITCHING SURFACES.	22
--	----

Dyda A. A., Markin V. E.

The control of complex dynamic objects with uncertainties is discussed. New variable-structure adaptive control algorithms with paired and nonlinear deformable surfaces are offered. By an example of simple variable-structure adaptive systems, the paper shows that the approach proposed enables considerable improvement of system's dynamic performance with significant reduction of energy consumed for zero-overshoot control.

MULTICRITERION SELECTION AND ADJUSTMENT OF MODELS FOR EPIDEMIOLOGICAL DATA ANALYSIS IN RUSSIA.	26
--	----

Rykov A. S., Khorochilov V. O., Shchipin K. S.

The paper offers a dialog system for multicriterion selection and adjustment of predictive models for epidemiological data analysis. The elaborated multicriterion description seeks to obtain a better quality of time series forecasting, thus allowing to formulate the forecasting problem as an optimization one. The applications of the approach to the selection and adjustment of predictive models for different diseases are demonstrated.

A POST-STRUCTURAL ANALYSIS OF PROGRESS IN ENGINEERING.	33
---	----

Stapleton L., Kile K.

The paper examines developments in engineering and their impact on society from a post-structural perspective, focusing on social impact, especially on labor, and on the environmental impact of technology, particularly in terms of global increases in consumption. Displacement

of labor is discussed in terms of growing underemployment as machine enhanced productivity evolves from production of tangible goods to skilled and professional work. Ethical questions need to be re-framed to be relevant to reflect the evolution of work structures. Current developments create a positive feedback loop with adverse consequences for socio-political and environmental systems. Some analysts believe our current social system has already become highly unstable.

ON THE MODELS AND METHODS FOR COMPLEX SOCIO-ECONOMIC DYNAMIC SYSTEMS CONTROL.	38
--	----

Zhukovskaya L. V.

The paper offers model, methods, and a technology for investigating and controlling complex socio-economic systems as applied to solving some regional and federal problems of overcoming the system crisis and subsequent transition to sustainable development.

TELECOMMUNICATIONAL ENVIRONMENT FOR INNOVATION ACTIVITIES SUPPORT.	45
---	----

Pinyavsky S. A.

A concept of cybercommunities formation as a natural phase in mankind evolution is discussed. Distinctive features of telecommunicational environment for innovation activities support related to this process are analyzed. The experience of the approach application to the scientific youth cybercommunity is expounded.

MODELS AND METHODS OF SECURITY INSURANCE PROGRAMS.	51
---	----

Burkova I. V., Tolstykh A. V., Ouandykov B. K.

An approach to security insurance design based on a complex security level estimation system is proposed. The problem of cost minimization for the achievement of the required complex estimate is formulated and solved.

A COMPUTER-AIDED TRAINING SYSTEM FOR CONTROL ROOM OPERATORS OF A CHEMICAL WEAPONS DESTRUCTION PLANT.	56
--	----

Utkin A. Yu., Lebedev V. G., Kostikova N. A., et al.

Design concepts of a computer-aided training system for control room operators of a chemical weapons destruction plant and the functionality of its software modules are considered.

FINANCIAL COMPONENT OF ENTERPRISE'S STRATEGIC STABILITY.	62
---	----

Kucheryavy A. V., Lyasnikov N. V., Shemetov V. V.

NEW METHODS FOR SOLVING THE PROBLEM OF ENTERPRISE'S PRODUCTION ACTIVITY PLANNING.	66
---	----

Kuznetsov L. A., Chernykh M. V.

The possibility is shown and the description and solution methods of the volumetric planning problem based on the enterprise bookkeeping data are developed. The methods allow to solve the planning problems directly on specific enterprise data and to present the results in terms and concepts assumed in bookkeeping accounting. Formally, the planning problem is reduced to the well-known constrained optimization problem of a multivariable function that can be solved using the known techniques. In view of the problem's linearity the LP methods are preferable.

APPLICATION PROSPECT OF A DIAGNOSTIC EXPERT SYSTEM OF A LAND-BASED COMPLEX FOR TESTING AIRBORN SOFTWARE OF AN INTERNATIONAL SPACE STATION.	77
---	----

Mikrin E. A., Knutov A. S.

Based on analysis results, A diagram of real-time expert system integrating with the existing testing complexes is offered. The tasks for an embedded expert system are determined and the hardware necessary for their implementation is outlined.

CASC'2004: THE 4 th INTERNATIONAL CONFERENCE ON COGNITIVE ANALYSIS AND SITUATION DEVELOPMENT CONTROL.	83
--	----