

ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОГО ТЕХНИЧЕСКОГО
УНИВЕРСИТЕТА «ХПИ»

УДК 681.5+519.7+519.8+004

Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2009. – № 4. – 196 с.

Сборник научных трудов
Тематический выпуск «Системный анализ, **4'2009**
управление и информационные технологии»

Издание основано Национальным техническим университетом «ХПИ»
в 2001 году

Госиздание

Свидетельство Госкомитета по информационной политике Украины
КВ № 5256 от 2.07.2001 г.

КООРДИНАЦИОННЫЙ СОВЕТ

Председатель

Л.Л. ТОВАЖНЯНСКИЙ, д-р техн. наук, проф.

Зам. председателя

А.П. Марченко, д-р техн. наук, проф.

Е.И. Сокол, д-р техн. наук, проф.

Секретарь координационного совета

К.А. Горбунов, канд. техн. наук, доц.

Е.Е. Александров, д-р техн. наук, проф.

Б.Т. Бойко, д-р техн. наук, проф.

М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.

А.И. Грабченко, д-р техн. наук, проф.

В.Г. Данько, д-р техн. наук, проф.

В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.

П.А. Качанов, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Клепиков, д-р техн. наук, проф.

В.И. Кравченко, д-р техн. наук, проф.

А.К. Морачковский, д-р техн. наук, проф.

П.Г. Перерва, д-р техн. наук, проф.

Н.И. Погорелов, д-р техн. наук, проф.

М.И. Рыщенко, д-р техн. наук, проф.

В.Б. Самородов, д-р техн. наук, проф.

В.П. Себко, д-р техн. наук, проф.

В.И. Таран, д-р физ.-мат. наук, проф.

Ю.В. Тимофеев, д-р техн. наук, проф.

Е.И. Юносова, д-р фил. наук, проф.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ответственный редактор

М.Д. Годлевский, д-р техн. наук, проф.

Зам. ответственного редактора

А.С. Куценко, д-р техн. наук, проф.

Ответственный секретарь

Н.И. Безменов, канд. техн. наук, доц.

И.П. Гамаюн, д-р техн. наук, проф.

В.Д. Дмитриенко, д-р техн. наук, проф.

А.Е. Ефимов, д-р техн. наук, проф.

И.В. Кононенко, д-р техн. наук, проф.

Л.М. Любчик, д-р техн. наук, проф.

В.П. Северин, д-р техн. наук, проф.

Л.Г. Раскин, д-р техн. наук, проф.

Н.В. Шаронова, д-р техн. наук, проф.

М.А. Ястребенецкий, д-р техн. наук, проф.

АДРЕС РЕДКОЛЛЕГИИ

61002, Харьков, ул. Фрунзе, 21

Кафедры «Автоматизированные
системы управления» и «Системный
анализ и управление»

Тел. (057) 707-65-20,

(057) 707-61-03

У збірнику представлено теоретичні та практичні результати наукових досліджень та розробок, що виконані викладачами вищої школи, аспірантами, студентами, науковими співробітниками, спеціалістами різних організацій та підприємств.

Для науковців, викладачів, аспірантів, студентів.

В сборнике представлены теоретические и практические результаты научных исследований и разработок, которые выполнены преподавателями высшей школы, аспирантами, студентами, научными сотрудниками, специалистами различных организаций и предприятий.

Для научных работников, преподавателей, аспирантов, студентов.

**Друкується за рішенням Вченої ради НТУ «ХПИ»,
протокол № 4 від 10.04.2009 р.**

М. Д. ГОДЛЕВСКИЙ, д-р техн. наук, проф., зав. каф. АСУ НТУ «ХПИ»,
Е. Л. ОРЕХОВА, аспирантка НТУ «ХПИ»

ЗАДАЧА СИТУАЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ ЦЕНОВОЙ ПОЛИТИКОЙ ПРЕДПРИЯТИЯ НА ПРИМЕРЕ РЫНКА ПОЛИМЕРОВ

В статті розглянута задача ситуаційного управління ціновою політикою для підприємств, що виробляють полімери або займаються маркетинговими дослідженнями ринку полімерів та полімерних виробів. Розв'язання цієї задачі також може бути використано відділами маркетингу або комерційними службами підприємств, що виробляють товари широкого вжитку.

В статье рассмотрена задача ситуационного управления ценовой политикой для предприятий, которые производят полимеры или занимаются маркетинговыми исследованиями рынка полимеров и полимерных изделий. Решение этой задачи также может быть использовано отделами маркетинга или коммерческими службами предприятий, которые работают с товарами массового потребления.

The paper is devoted to the problem of situational management of price policy of enterprises, which produce the polymers or deal with marketing research of polymeric markets. The solution can be implemented by marketing departments of companies producing consumer goods too.

Введение. Одной из причин современного экономического кризиса ведущие экономисты и бизнесмены Украины и мира в один голос называют неверное управление ожиданиями или виртуальной стоимостью бизнеса и его продукции. Это связано с тем, что в мире на протяжении последних восьми лет сформировались значительные массы виртуальных денег, не обеспеченные реальными товарами, а построенные на ожиданиях инвесторов о потенциальной прибыли от реализации того или иного инновационного проекта или продукта. Потому цена товаров или услуг оказалась завышенной («раздутой»). Следовательно, бизнес-сообщество ожидает корректировка, когда цена реальная приблизится к виртуальной (ожидаемой). В этой ситуации выживут только те предприятия, которые обладают уникальной информацией о реальном спросе и предложении (о карте своего рынка), о цене на товары конкурентов, а также о виртуальной стоимости своего бизнеса – цене ожидания инвесторов. Базируясь на указанной информации, они смогут устанавливать реальную цену своей продукции, которая обеспечит их выживание. Другими словами, они смогут управлять своей ценовой политикой путем выбора: а) метода ценообразования, б) ценовой системы предприятия и в) ценовой рыночной стратегии.

Особенно остро последствия кризиса ощущают рынки, которые оперируют продукцией, произведенной в так называемых непрерывных циклах производства. Одним из таких рынков является рынок полимеров и полимерных изделий [1]. Уже сейчас компании, функционирующие на этом

рынке, обладают терабайтами маркетинговых данных, но отсутствуют модели и информационные технологии для их обработки и поддержки принятия управленческих решений. Об этом также свидетельствуют результаты выполнения бюджетной темы М8015 «Разработка информационно-аналитического обеспечения процедур поддержки принятия решений в компьютерно-интегрированных системах» в 2006-2008 годах на кафедре АСУ НТУ «ХПИ». Они показали, что в Украине ощущается острая необходимость в разработке информационной технологии поддержки принятия управленческих решений на основе маркетинговых данных для рынка полимеров и фармацевтических изделий.

Понятно, что основой такой информационной технологии становится механизм постоянного контроля жизненного цикла потребностей клиентов (спроса на полимеры). Такой контроль можно осуществлять, если предприятие обладает маркетинговой информационной системой (МИС). Но МИС – это не просто компьютерная программа, а комплект организационно-технических средств, предназначенных для регулярного, планомерного сбора, анализа и распределения информации о рыночных ситуациях для подготовки и принятия управленческих решений [2]. Однако разработать МИС невозможно без решения актуальной задачи ситуационного управления ценовой политикой предприятия на примере рынка полимеров.

Постановка задачи. Рассматриваемая задача исследования относится к классу задач ситуационного управления, так как удовлетворяет следующим требованиям:

- *Уникальность.* Объектом исследования и управления выступает ценовая политика предприятия, которая является оригинальной для каждого отдельного предприятия и рынка в целом.
- *Отсутствие формализуемой цели.* При выборе ценовой политики предприятию необходимо достигнуть одновременно взаимоисключающие цели: увеличение прибыли, снижение затрат, выход на новые рынки, удержание клиентов и так далее. Получается так, что цель очень сложно формализовать, например, путем ранжирования. А в условиях кризиса, когда абсолютно непонятно, что будет происходить со спросом и предложением далее, цель «выжить» не может быть формализуема априори.
- *Отсутствие оптимальности.* Невозможность четко определить математическую запись критерия, символизирующего цель решения задачи, приводит к тому, что получить оптимальную ценовую политику также нельзя.
- *Динамичность.* Поскольку ценовая политика применяется к конкретному рынку, а он в свою очередь является постоянно изменяемой структурой, то можно говорить о динамичности (гибкости) ценовой политики предприятия.

- *Неполнота описания.* Как правило, ценовая политика априори формируется в условиях отсутствия полной информации о рынке (его структуре, целях отдельных его элементов и внешнем воздействии, например, со стороны государства или других рынков) [3].

Поскольку ценовая политика на рынке полимеров, как мы видим, – это сложный объект управления, состоящий из трех компонентов (методика ценообразования, ценовая система предприятия и рыночная ценовая стратегия). Тогда текущей ситуацией назовем совокупность всех данных о: а) структуре рынка полимеров (игроки и виртуальные каналы доставки полимера от производителя к переработчику), б) методе выбора цены на предприятии и у конкурентов, в) технологии производства и переработки полимеров как источнике информации о базовой цене полимера и потенциальном спросе на него, г) прогнозах (статистической маркетинговой информации), д) мнениях экспертов рынка и новостях касательно данного рынка в заданный момент времени.

Управляет ценовой политикой менеджмент предприятия, то есть лица, принимающие управленческие решения (ЛПР). Они решают, какой будет ценовая политика предприятия на рынке. Но объем маркетинговых данных настолько велик (например, в Украине находится четыре компании производителя полимеров и порядка 25 трейдеров), что получить альтернативы (варианты ценовой политики), из которых ЛПР будет выбирать, очень проблематично без применения современных информационных технологий. Поэтому в качестве системы управления ценовой политикой рассматривается информационная технология поддержки принятия решения (система бизнес-интеллекта) и ЛПР [4]. Тогда полной ситуацией назовем совокупность, состоящую из текущей ситуации, данных о состоянии системы управления в данный момент времени, а также о технологии принятия решения о выборе компонентов ценовой политики.

Используя классическую постановку задачи ситуационного управления [3], получаем следующее соотношение:

$$S_i; Q_j \xrightarrow{U_k} Q_i, \quad (1)$$

где S_i – полная ситуация;

Q_j – текущая ситуация на объекте управления, которая сложилась в заданный момент времени;

Q_i – новая текущая ситуация на объекте управления, которая складывается путем применения к объекту управления воздействия U_k .

Тогда полный список логико-трансформационных правил типа (1) задает полный набор возможностей воздействовать менеджменту предприятия на ценовую политику. Очевидно, что из-за конечного числа таких воздействий все множество полных ситуаций распадается на n классов, каждому из которых будет соответствовать одно воздействие. Другими словами, необходимо задать правила классификации полных ситуаций, а задача ситуационного управления включает, таким образом, в себя подзадачу классификации полных ситуаций.

Возможны случаи, когда из-за отсутствия полного набора маркетинговых данных невозможно точно отнести ситуацию к конкретному классу. Тогда можно говорить о том, что ситуация принадлежит к некоторому множеству классов. Также заключаем, что задача ситуационного управления включает в себя еще одну подзадачу – прогнозирования последствия принятия управленческого решения на основе соотнесения полной ситуации к конкретному классу.

Таким образом, задачу ситуационного управления ценовой политикой предприятия на примере рынка полимеров можно сформулировать следующим образом: на основе текущей ситуации Q_j определить новую ситуацию Q_i , используя предопределенное множество логико-трансформационных правил $U_k, k = \overline{1, n}$, и получить прогноз ее изменения. При этом, в качестве: а) *текущей ситуации* понимается совокупность маркетинговых данных (карта рынка, статистика продаж и потребления), а также информации о внешнем возмущении (новости из СМИ и Интернет, мнения экспертов); б) *логико-трансформационного правила* понимается решение задачи классификации с целью определения соответствующего ситуации воздействия в виде выбора метода ценообразования, ценовой системы и стратегии; в) *новой ситуации* понимается совокупность маркетинговых прогнозных данных о рынке полимеров, когда применим метод ценообразования, ценовая система и стратегия. Прогноз, в первую очередь, должен демонстрировать ценовые тенденции (тренды), которые приведут в новую ситуацию в будущем при применении выбранного воздействия на текущую ситуацию.

Подход к решению задачи. Для решения задачи ситуационного управления требуется рассмотреть структуру рынка полимеров, то есть получить представление о карте рынка и его параметрах. Поэтому схема решения задачи исследования имеет следующий вид [5] – см. рис. 1.

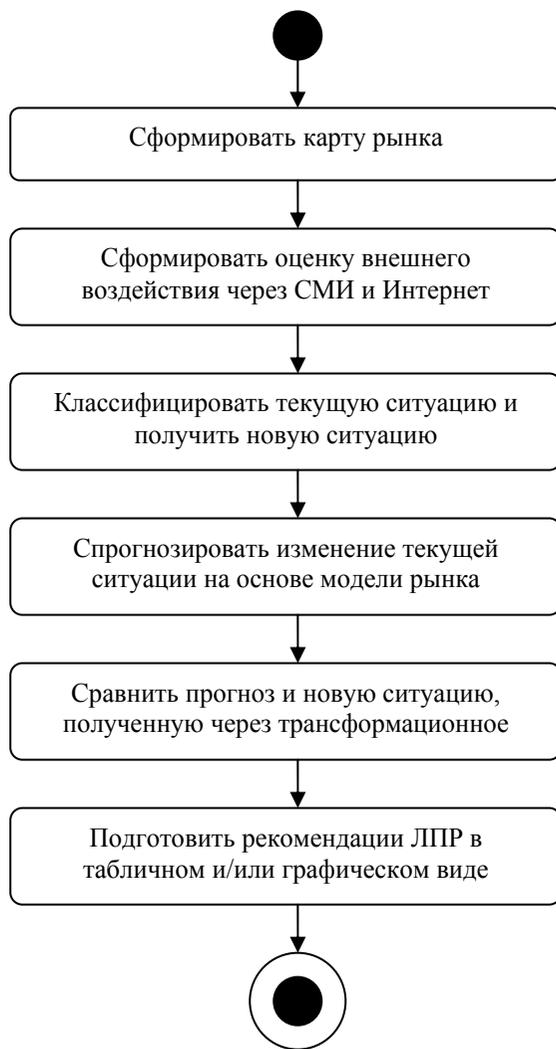


Рис. 1 – Диаграмма действия (UML activity)

Карта рынка, которая является исходной информацией для определения текущей ситуации, представлена на рис.2. Она показывает структуру и принципы функционирования рынка полимеров в Украине.

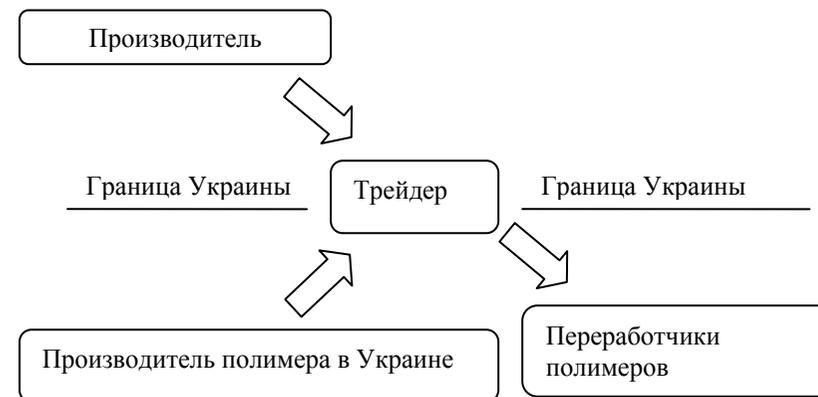


Рис. 2 – Карта рынка полимеров

Дополнительно к карте рынка необходимо проанализировать Интернет новости и экспертные мнения. Эта информация представлена, как правило, в форме гипертекстов (HTML-формат).

Анализ исходной информации и схемы решения задачи ситуационного управления показывает, что следующим этапом исследований являются:

- *построение модели рынка полимеров.* Она должна базироваться на карте рынка и принципах имитационного моделирования;
- *применение технологии хранилищ и добычи данных.* Решение задачи ситуационного управления по сути сводится к анализу проблемы классификации и прогнозирования, что является областью применения технологии добычи и хранилищ данных;
- *применение технологии Интернет поиска.* Обработка гипертекстов, осуществляется поисковыми серверами. Следовательно, анализ их применимости также является частью следующего этапа исследований по данной тематике.

Список литературы: 1. Ковалев Ю. Ценовой риск – товарный фактор. // Полимер-Деньги. – 2005. – № 6. – С. 20–22. 2. Черчилль Г. А. Маркетинговые исследования. – СПб: Питер, 2003. – 752 с. 3. Поспелов Д. А. Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука, 1986. – 288 с. 4. Спирли, Эрик. Корпоративные хранилища данных. Планирование, разработка. Реализация. Том. 1.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2001. – 400 с. 5. Дж. Рамбо, М. Блаха. UML 2.0. Объектно-ориентированное моделирование и разработка. – СПб.: Питер, 2007. – 544 с.

Поступила в редколлегию 10.12.08

Д.Л. ОРЛОВСКИЙ, канд. техн. наук, доцент НТУ «ХПИ»,
А.О. КОРОФ, студентка НТУ «ХПИ»

ИНФОРМАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ ПОДДЕРЖКА СИТУАЦИОННОГО АНАЛИЗА ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПРЕДПРИЯТИЯ

У даній статті розглядаються питання інформаційно-технологічної підтримки ситуаційного аналізу показників діяльності підприємства, зокрема питання формування і контролю траєкторії діяльності підприємства.

В данной статье рассматриваются вопросы информационно-технологической поддержки ситуационного анализа показателей деятельности предприятия, в частности вопросы формирования и контроля траектории деятельности предприятия.

Введение. Для того чтобы стать полноправным субъектом рыночной системы, предприятия вынуждены становиться гибкими, постоянно реагировать на изменения внешней среды, вырабатывать и реализовывать локальные и глобальные проекты изменения своей деятельности, которые должны протекать без потери контроля над организацией. В связи с этим встает вопрос о поддержании предприятия в желаемом социально-рыночном состоянии, что требует его постоянного развития как производственно-экономической системы. Управление предприятием – это управление всеми процессами, активами и обязательствами на основе системы выбранных критериев. В последние десятилетия для создания систем управления применяли различные модели оценки эффективности деятельности предприятий: рентабельность инвестиций, рентабельность акционерного капитала, рентабельность чистых активов, экономическая добавленная стоимость, прибыль до выплаты налогов и дивидендов. Одним из инструментов, предназначенных для эффективного решения задачи более совершенной реализации управленческого процесса, является технология управления ситуациями в совокупности с системой показателей деятельности предприятия Balanced Scorecard.

Общая характеристика подходов к решению задач ситуационного анализа показателей деятельности предприятия. В современной динамичной рыночной среде на первый план выносятся понятие «ситуации», поскольку оно отображает совокупность наиболее важных, актуальных факторов, которые воздействуют на функционирование и развитие предприятия [1]. Использование этого понятия тесно связано с понятием ситуационного управления, которое основано на исследовании поведения предприятия в различных ситуациях, позволяет оценить текущее его

состояние и перспективы его развития [2]. Данный подход является одним из наиболее эффективных для решения различных проблем, с которыми сталкивается предприятие. При существенных отклонениях фактического состояния от запланированной ситуация становится проблемной.

Для того чтобы любые проблемы на предприятии можно было предупредить или устранить, необходима система своевременных и достоверных показателей, которая позволит наиболее полно оценить эффективность работы предприятия в целом. Одной из возможных систем является сбалансированная система показателей (BSC – Balanced Scorecard). Задача сбалансированной системы показателей (ССП) состоит в том, чтобы трансформировать миссию предприятия в конкретные, вполне осязаемые задачи и показатели. Эти показатели представляют собой баланс между внешними и внутренними характеристиками наиболее значимых бизнес-процессов, инноваций, обучения и роста. Это равновесие между показателями результатов прошлой деятельности и будущего роста [3].

Цели и показатели данной системы формируются в зависимости от мировоззрения и стратегии каждого конкретного предприятия и рассматривают его деятельность по четырем критериям: финансовому, взаимоотношениями с клиентами, внутренними бизнес-процессами, а также обучению и развитию персонала [4].

При решении задач ситуационного анализа возникает проблема анализа согласованности показателей деятельности предприятия. Одним из подходов решения данной проблемы является использование производственных функций вида (1), которые представляет собой экономико-математическое выражение зависимости результатов производственно-хозяйственной деятельности предприятия от обусловивших эти результаты показателей [5]:

$$Q(t) = \alpha_0 L^{\alpha_1}(t) K^{\alpha_2}(t) V^{\alpha_3}(t) e^{\gamma t} + \xi_Q(t), \quad (1)$$

где $Q(t)$ – выпуск продукции в стоимостном выражении;

$L(t)$ – среднесписочная численность промышленно-производственного персонала;

$K(t)$ – среднегодовой объем основных производственных фондов;

$V(t)$ – суммарные материальные затраты;

$\xi(t)$ – ошибка регрессии;

γ – темп технического прогресса.

Состояние рынка информационных технологий, обеспечивающих решение задач ситуационного анализа деятельности предприятия. В современных условиях решение таких задач возможно только на основе автоматизации процесса. В настоящее время на рынке существует множество различных программных средств, используемых для решения задач

ситуационного анализа деятельности предприятия. Основными требованиями к таким программным продуктам являются: возможность хранения и обработки большого объема информации, гибкость системы и доступа к данным, возможность визуализации и формирования отчетов на основе анализируемой информации. Рассмотрим некоторые программные продукты, решающие данную задачу.

Программно-методический комплекс "Инталев: Навигатор" предназначен для проектирования и автоматизации процессов управления в различных организациях. "Инталев: Навигатор" разработан для топ-менеджеров и управляющих собственников, руководителей отдельных функциональных направлений и консультантов по управлению [6].

Hyperion Performance Scorecard — специализированный программный продукт, позволяющий связать стратегические цели и оперативные задачи компании и организовать комплексный мониторинг процесса реализации стратегии. Позволят эффективно использовать методологию BSC. При этом в поле зрения руководителей высшего звена оказываются не только финансовые показатели, но и такие параметры как степень удовлетворенности клиентов, эффективность бизнес-процессов, развитие персонала. На этой основе компании могут более точно и достоверно оценить результаты своей деятельности, выявить слабые места, сформулировать стратегические цели и наметить пути их достижения [6].

Сбалансированная система показателей, реализованная в Cognos Metrics Manager, была разработана как динамическое решение ССП, которое позволяет организациям контролировать, анализировать и описывать каждый уровень бизнеса. Используя Cognos Metrics Manager, сотрудники компании могут определять приоритетные задачи, ориентируясь на основную стратегическую линию компании, а также осуществлять контроль требуемых показателей.

Программный продукт Geac Performance Management является системой бюджетирования, планирования и управленческого анализа. Одной из функций данного программного обеспечения является Strategy Management, реализующая ССП [6]. Данный продукт позволяет определять стратегические задачи по крайней мере для одной перспективы, явно связывать показатели по крайней мере с одной стратегической задачей, определять количественные задачи с лимитом времени для показателей и многое другое.

Программный продукт ARIS BSC - это управленческая система, предназначенная для руководителей, аналитиков, сотрудников отделов финансового контроля и IT-специалистов. Данный продукт позволяет представить стратегические планы в виде показателей, описывающих деятельность компании. В основе данной системы лежит технология ССП [7].

Oracle Balanced Scorecard является инструментом стратегического управления компанией. Он позволяет контролировать эффективность деятельности с помощью ключевых показателей эффективности по 4

измерениям: финансовое, клиенты, внутренние процессы и рост и обучение ССП

Постановка задачи. При управлении деятельностью предприятия возникает необходимость анализировать и оценивать различные ситуации, учитывать различные факторы (внешние и внутренние), влияющие на функционирование системы. От своевременного учета этих факторов и умения работать с ними зависят управленческие решения и возможные результаты. От правильности оценки ситуации зависит будущее предприятия, эффективность ее работы, прибыльность, стратегия развития.

Следует обратить внимание на то, что в развитии ситуации возможно различить точки, в которых развитие событий может идти в одном или другом направлении. Именно в этих точках ситуация наиболее чувствительна к управленческому влиянию. Процесс разработки управленческих решений должен быть достаточно динамичен. Именно в этих ситуациях является перспективным использование ситуационного управления, способствующего осуществлению контроля над проблемными ситуациями. Общая схема ситуационного управления базируется на подходе, предложенном Пospelовым Д.А., основные блоки которого состоят из анализатора, классификатора, коррелятора, экстраполятора и блока случайного выбора [8]. Поставленная задача рассматривается в рамках анализатора, задача которого состоит в оценке сообщения и определения необходимости вмешательства системы управления в процесс, протекающий в объекте управления.

Одним из возможных средств планирования и анализа деятельности предприятия является построение его траектории развития [9]. Процедура выявления проблемных ситуаций состоит из ряда этапов и заключается в построении плановых и фактических траекторий характеристик предприятия и их анализа. Раннее обнаружение проблемных ситуаций заключается в построении прогнозных траекторий характеристик предприятия, а также траекторий допустимых отклонений [10]. Для наиболее полной оценки эффективности работы предприятия необходима система показателей. Одним из возможных методов решения данной проблемы является система сбалансированных показателей. При решении поставленной задачи также возникает проблема согласованности показателей, одним из возможных методов ее решения является производственная функция. Рассматриваемые задачи возможно решать вручную, но это довольно громоздкий, длительный и трудоемкий процесс. Поэтому возникает потребность в автоматизации решаемой задачи, что позволило бы обрабатывать большие объемы информации, обеспечило оперативность, визуализацию анализируемых данных.

Одним из возможных подходов представления алгоритмического обеспечения поставленной задачи является использование модели в нотации IDEF0, которая позволяет наглядно и эффективно отобразить весь механизм в

нужном разрезе. Графическое представление концептуальной модели, отражающей последовательность действий при решении задачи ситуационного анализа траектории деятельности предприятия представлена на рисунке 1. Функциональная модель процесса ситуационного анализа деятельности предприятия представлена на рисунке 2. Данная функциональная модель позволяет детализировать процесс анализа и представить его в виде последовательности взаимосвязанных действий.

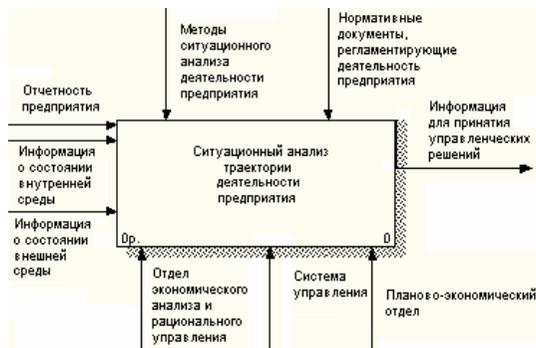


Рис. 1. Концептуальная модель

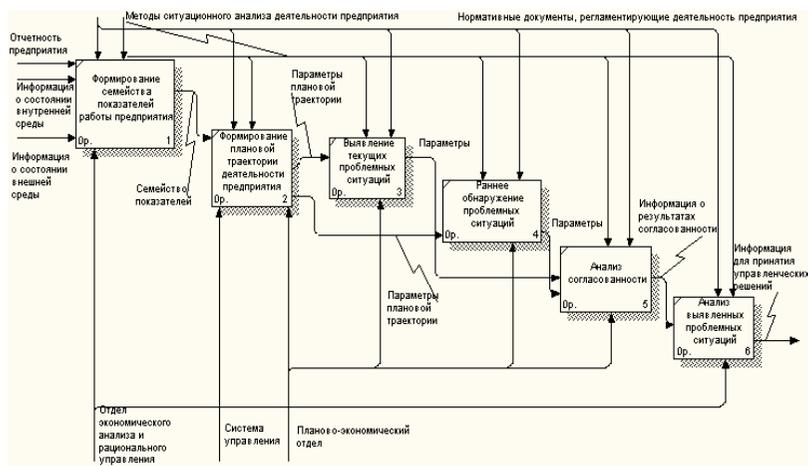


Рис. 2. Функциональная модель

Информационно-технологическая поддержка выявления проблемных ситуаций. Для решения поставленной задачи было разработано программное обеспечение, которое обеспечивает поддержку работы с показателями, формирование множества траекторий деятельности предприятия (плановой, фактической, прогнозной) и множества допустимых

ограничений для этих траекторий. С целью повышения наглядности обеспечивается формирование графического отображения процесса выявления проблемных ситуаций и анализа согласованности показателей. В составе программного обеспечения возможно выделить следующие функциональные модули:

1. Формирование системы показателей.
2. Выявление проблемных ситуаций.

2.1. Выявление текущих проблемных ситуаций (построение плановой и фактической траекторий, формирование допустимых отклонений, анализ выхода фактической траектории за пределы допустимых отклонений).

2.2. Раннее обнаружение проблемных ситуаций (построение прогнозной траектории, анализ выхода прогнозной траектории за пределы допустимых отклонений).

3. Анализ согласованности показателей.

Разработанное программное обеспечение ориентировано на пользователя, не имеющего специальной подготовки. Программный продукт реализован на основе современных информационных технологий. Одним из компонентов программного обеспечения является база данных. Ее структура, представленная в виде модели, соответствующей нотации IDEF1X, приведена на рисунке 3.

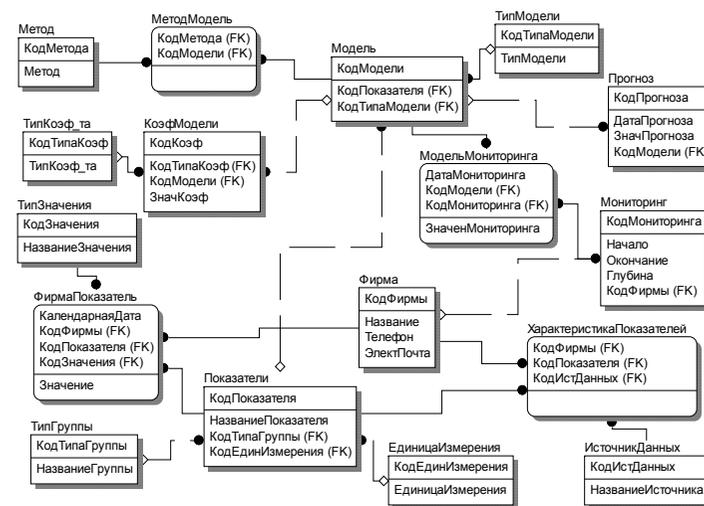


Рис. 3. Модель данных

Последовательность действий при выявлении проблемных ситуаций предполагает ввод исходных данных и их начальную проверку, построение плановых и фактических траекторий для множества показателей, областей допустимых отклонений, а также прогнозных траектории развития. На основе

построенных траекторий обеспечивается выявление и анализ, как текущих проблемных ситуаций, так и тех, которые могут произойти в будущем.

Полученные результаты и их анализ. На основе проведенных исследований было разработано программное обеспечение, соответствующее сформулированным требованиям. Были проведены контрольные расчеты на основе тестовых данных, максимально приближенных к реальности. Выявление проблемных ситуаций заключается в обнаружении существенных отклонений фактического состояния от запланированного. Графическая интерпретация процесса выявления проблемной ситуации представлена на рисунке 4.

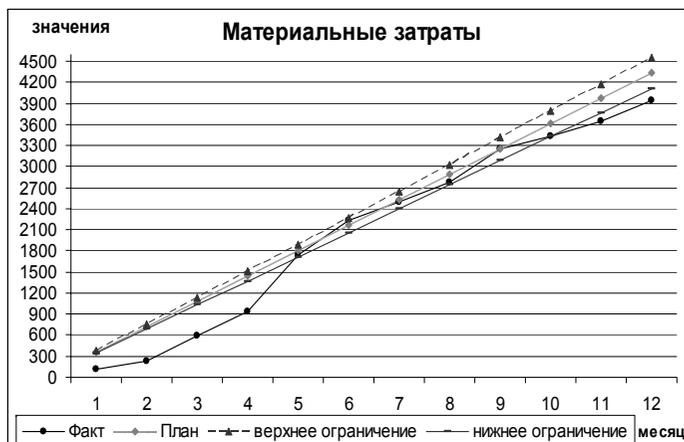


Рис.4. Выявление проблемных ситуаций

Важным аспектом ситуационного анализа является анализ согласованности показателей деятельности предприятия. Подход, базирующийся на использовании производственной функции, позволяет проанализировать степень согласованности разнородных показателей. Графическое представление анализа согласованности показателей деятельности предприятия представлено на рисунке 5. Чем ближе траектории находятся друг к другу, тем меньше рассогласованность показателей деятельности предприятия. При наличии рассогласованности необходимо проанализировать качество исходных данных, а также множество используемых показателей.

Рассматриваемая методика и примеры расчетов были ориентированы на предприятие, которое придерживается приростного стиля поведения, представленные траектории формировались на основе значений показателей, рассчитываемых с нарастающим итогом.

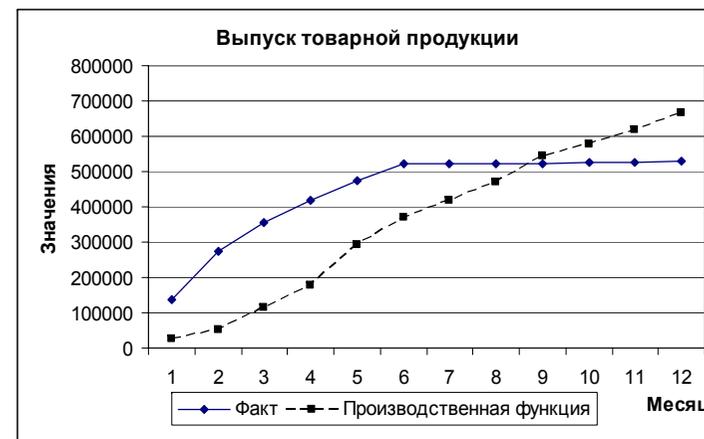


Рис.5. Анализ согласованности

Заключение. В результате проведенных исследований были изучены основные особенности решения задач ситуационного анализа деятельности современных предприятий. Показано, что для решения этих задач могут быть использованы подходы, базирующиеся на использовании сбалансированной системы показателей. Разработано алгоритмическое и программное обеспечение для решения задачи ситуационного анализа траектории деятельности предприятия. Выполнены контрольные расчеты на основе данных, приближенных к реальным.

Список литературы: 1. Василенко В.А., Шостка В.И. Ситуаційний менеджмент. – К.: ЦУЛ, 2003. 2. Поспелов Д.А. Ситуационное управление большими системами. – М.: Наука, 1982. 3. Каплан Р., Нортон Д. Сбалансированная система показателей: от стратегии к действию. – М.: Олимп-Бизнес, 2003. 4. Браун Марк Г. Сбалансированная система показателей: на маршруте внедрения. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2005. 5. Клейнер Г.Б. Производственные функции: теория, методы, применения. – М.: Финансы и статистика, 1986. 6. Сбалансированная система показателей: краткий обзор рынка программного обеспечения // <http://www.iso.ru/journal/articles/345.html> 7. Программный продукт ARIS // http://www.bps.org.ua/aris/bps_aris_bscp.htm 8. Поспелов Д.А. Ситуационное управление: теория и практика. – М.: Наука, 1986. 9. Орловский Д.Л., Лисицкий В.Л. Технологические основы оперативной диагностики финансово-хозяйственного состояния предприятия // Вісник Харківського державного політехнічного університету. Випуск 35. – Харків, ХДПУ, 1999. – С. 33–38. 10. Орловский Д.Л. Раннее обнаружение проблемных ситуаций при управлении прибылью предприятия. // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ». – 2000. – С.97–103.

Поступила в редколлегию 01.12.08

А.А. ПАВЛОВ, д-р техн. наук, проф. каф. АСОИУ НТУУ «КПИ»,
А.А. ИВАНОВА, аспирантка НТУУ «КПИ»,
А.В. ЧЕХОВСКИЙ, студент НТУУ «КПИ»

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ФУНКЦИИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МОДИФИЦИРОВАННОГО МЕТОДА АНАЛИЗА ИЕРАРХИЙ

В статті пропонується точний метод відновлення функції прийняття рішення з використанням модифікованого методу аналізу ієрархій. Метод запропоновано для випадку, коли є можливість реалізації обмеженого активного експерименту.

В статье предлагается точный метод восстановления функции принятия решения с использованием модифицированного метода анализа иерархий. Метод предложен для случая, когда есть возможность реализации ограниченного активного эксперимента.

Precise method of decision making function restoration with the use of modified analytic hierarchy process is proposed in the article. The method is proposed for the case, when there is a possibility of the limited active experiment realization.

Рассмотрим следующую задачу принятия решений. Глобальная цель имеет качественное описание и не формализована. Имеется набор альтернатив A_1, \dots, A_m . Нужно найти наилучшую альтернативу с точки зрения глобальной цели. Для подобных задач обычно используется метод анализа иерархий Саати [1-5]. В [6-8] сформулированы и обоснованы модели оптимизации, существенно расширяющие возможности метода анализа иерархий Саати [1-5], что позволило сформулировать и предложить решение задачи построения функции, которая аппроксимирует качественно заданную глобальную цель.

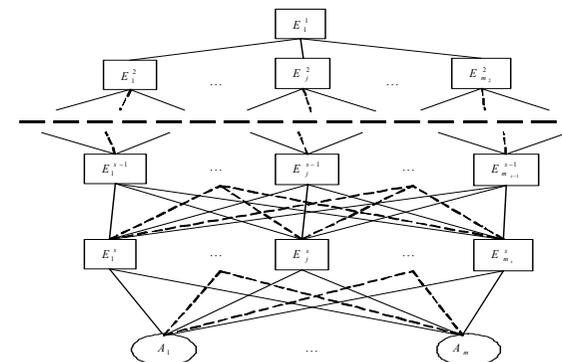
Предложенный в [9] метод решения этой задачи органично объединил в единое целое метод группового учета аргументов [10-11] и метод анализа иерархий Саати.

Показано, что с использованием модифицированного метода анализа иерархий [6-8], а так же нормированных ортогональных полиномов [12-13] можно эффективно восстанавливать функцию принятия решений в случае ограниченного активного эксперимента.

Рассмотрим эту задачу более подробно. Пусть произвольная альтернатива A_l однозначно задается m -мерным вектором \bar{u}^l с действительными неотрицательными коэффициентами, i -я компонента вектора \bar{u}^l - это значение i -го критерия, характеризующего альтернативу A_l . Таким образом, неизвестная глобальная функция цели $f(A) = f(\bar{u})$ задана значениями $f(A_l) = f(\bar{u}^l)$, $l = \overline{1, L}$ где $f(\bar{u}^l)$ - это результирующий вес

$E_1^1(A_l)$ альтернативы A_l , полученной с помощью метода анализа иерархий (МАИ) [1-5] либо с помощью модифицированного метода анализа иерархий (ММАИ) [6-8].

Заложенный в МАИ принцип идентичности и декомпозиции предусматривает структурирование проблем в виде иерархии или сети. [1-5]



Пример иерархического представления задачи

В представленной на рисунке задаче имеем m альтернатив A_1, \dots, A_m и s уровней критериев E_j^i , $i = \overline{1, s}$, $j = \overline{1, m_i}$

Если все матрицы парных сравнений хорошо обусловлены, то можно считать, что $E_1^1(A_l)$ практически точно задает $f(\bar{u}^l)$. Если это не так, то использование ММАИ позволяет получить эффективные [6-8] оценки $E_1^1(A_l)$, которые можно представить как $f(\bar{u}^l) + \delta_l$, где δ_l - погрешность, интерпретируется как реализация случайной величины с неизвестным распределением и ограниченной, но неизвестной дисперсией.

Павлов А.А. и Чеховский А.В. в [12] предложили эффективную процедуру построения многомерной полиномиальной регрессии с использованием нормированных ортогональных полиномов [13].

Очевидно, что эти результаты не могут быть непосредственно использованы в нашем случае. Однако Павловым А.А. и Чеховским А.В. была эффективно решена задача для случая циклически повторяющихся входных воздействий, что позволяет использовать этот метод в нашем случае.

Так как различные альтернативы A_l в общем случае не могут генерироваться произвольными неотрицательными векторами \bar{u} , перейдем от представления $f(A) = f(\bar{u})$ к представлению $f(A) = \hat{f}(\bar{x})$, где \bar{x} - n -мерный

действительный вектор ($n < m$), $\bar{x} = B\bar{u}$. Компоненты вектора \bar{x} интерпретируются как агрегированные характеристики альтернативы A .

Пусть известно избыточное описание функции $\hat{f}(\bar{x})$:

$$\hat{f}(\bar{x}) = \sum_{\forall (i_1 \dots i_l) \in K} \sum_{\forall (j_1 \dots j_l) \in K(i_1 \dots i_l)} b_{i_1 \dots i_l}^{j_1 \dots j_l} (x_{i_1})^{j_1} \cdot (x_{i_2})^{j_2} \dots (x_{i_l})^{j_l}, \quad (1)$$

где $\bar{x} = (x_1 \dots x_n)^T$ - детерминированный вектор входных переменных, x_i - i -я компонента вектора \bar{x} ; $b_{i_1 \dots i_l}^{j_1 \dots j_l}$ - неизвестные коэффициенты, j_l - натуральные числа, j_l, i_l - натуральные индексы из множества $\{1, \dots, n\}$;

При фиксированных значениях произвольных $n-l$ компонент вектора \bar{x} (1) является степенным полиномом от оставшейся переменной, и пусть P - максимальная степень полинома от одной переменной в соответствии с (1).

Пусть компоненты вектора \bar{x} (агрегированные характеристики альтернативы A) позволяют генерировать альтернативы по следующему правилу: можно зафиксировать в необходимом количестве [14] значения произвольных $n-l$ компонент вектора \bar{x} и оставшуюся компоненту изменять в количестве, не меньше, чем P раз. Таким образом, варьируются L альтернатив A_l , представляемые агрегированными векторами $\bar{x}^l, l = \overline{1, L}$. L должно быть не меньше, чем число неизвестных коэффициентов в представлении (1).

Пусть каждая альтернатива представляется экспертом, и значения агрегированных весов $E_1^l(A_l), l = \overline{1, L}$ найдены с помощью ММАИ по плохообусловленным матрицам парных сравнений. Тогда модель (1) представляем в виде

$$\hat{f}(\bar{x}^l) = \sum_{\forall (i_1 \dots i_l) \in K} \sum_{\forall (j_1 \dots j_l) \in K(i_1 \dots i_l)} b_{i_1 \dots i_l}^{j_1 \dots j_l} (x_{i_1})^{j_1} \cdot (x_{i_2})^{j_2} \dots (x_{i_l})^{j_l} + E(t), \quad (2)$$

$E(t)$ - случайная величина с нулевым математическим ожиданием и ограниченной неизвестной дисперсией (либо известной ее верхней оценкой $\delta(t)$), t - номер эксперта по данным которого построены все матрицы парных сравнений в ММАИ. Модель (2) является избыточной - возможно некоторые из коэффициентов $b_{i_1 \dots i_l}^{j_1 \dots j_l}$ равны нулю. Для удобства дальнейшего изложения линию регрессии модели представим иначе:

$$\sum_{l=1}^n \sum_{\forall (i_1 \dots i_l) \in K_l} \sum_{\forall (j_1 \dots j_l) \in K_l(i_1 \dots i_l)} b_{i_1 \dots i_l}^{j_1 \dots j_l} (x_{i_1})^{j_1} \cdot (x_{i_2})^{j_2} \dots (x_{i_l})^{j_l}. \quad (3)$$

Составляющее

$$\sum_{\forall (i_1 \dots i_l) \in K_l} \sum_{\forall (j_1 \dots j_l) \in K_l(i_1 \dots i_l)} b_{i_1 \dots i_l}^{j_1 \dots j_l} (x_{i_1})^{j_1} \cdot (x_{i_2})^{j_2} \dots (x_{i_l})^{j_l} \quad (4)$$

содержит все слагаемые из (2), в каждое из которых входит компонента x_1 , а составляющие

$$\sum_{\forall (i_1 \dots i_l) \in K_l} \sum_{\forall (j_1 \dots j_l) \in K_l(i_1 \dots i_l)} b_{i_1 \dots i_l}^{j_1 \dots j_l} (x_{i_1})^{j_1} \cdot (x_{i_2})^{j_2} \dots (x_{i_l})^{j_l}, \quad l = \overline{2, n} \quad (5)$$

содержат все слагаемые из (2), в каждое из которых входит компонента x_l , за исключением тех составляющих, которые вошли в (4) и (5) для $\forall (i_1 \dots i_l) \in K_m, \forall (j_1 \dots j_l) \in K_m(i_1 \dots i_l), m = \overline{1, l-1}$.

Тогда можно использовать модифицированный метод построения коэффициентов модели (2) [13,14], предложенный Павловым А.А., Чеховским А.В. для случая циклически повторяющихся множеств значений входных данных. В этом случае для построения каждой одномерной регрессии [12,14] будет столько повторяющихся множеств входных переменных, сколько экспертов будут последовательно оценивать сгенерированные альтернативы при фиксированных $n-l$ компонент вектора \bar{x} . При этом предполагается, что эксперты совершают ошибки не зависимо друг от друга и от рассматриваемых альтернатив с постоянной дисперсией для всех экспертов. Дисперсии могут отличаться только для различных наборов зафиксированных $n-l$ переменных.

Примечание 1. Пусть все матрицы парных сравнений являются хорошо обусловленными. Тогда неизвестная функция $\hat{f}(\bar{x})$ задается моделью (1). В этом случае наша задача не может рассматриваться как обычная задача интерполяции. Действительно, использование симплекс-метода или метода наименьших квадратов может привести к существенным ошибкам оценок неизвестных коэффициентов. В этом случае построенную функцию принятия решений нельзя использовать для оценки произвольных альтернатив без привлечения эксперта.

Для точного восстановления функции принятия решений по избыточному описанию (1) авторы предлагают использовать следующую модификацию описанного выше метода.

Задача восстановления одномерных регрессий превращается в задачу восстановления степенных полиномов от одной переменной по избыточным эмпирическим данным. Предлагается их восстанавливать применяя формальную процедуру метода наименьших квадратов на нормированных ортогональных полиномах [13], но по имеющимся экспериментальным данным. При этом восстанавливается полином степени не более чем число

экспериментов минус один. Модель избыточная, однако, соответствующие нули восстанавливаются точно.

В случае, когда матрица парных сравнений хорошо обусловлена, достаточно информации полученной от одного эксперта.

Матрицы парных сравнений в МАИ строятся только для альтернатив, необходимых для построения каждой одномерной регрессии. В приведенном ниже примере число таких альтернатив не превышает четырех.

Пример.

Пусть имеется набор альтернатив A_i , каждая из которых задается шестимерным вектором \bar{u}^i . С помощью линейного преобразования перейдем к представлению альтернативы A_i в виде трехмерного вектора агрегированных компонент.

Пусть эксперты предполагают, что избыточное описание функции принятия решений является полиномом от трех (агрегированных) переменных и имеет следующий вид:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_1x_2 + a_5x_2^2 + a_6x_1^2x_2 + a_7x_1x_3 + a_8x_2^2x_3^2 + a_9x_1x_2x_3,$$

где $a_0, a_1, a_2, \dots, a_9$ - неизвестные коэффициенты линии регрессии. Истинная функция принятия решений имеет вид:

$$y = 30 + 10x_1 + 50x_2 + 7x_3 + 36x_1x_2 + 19x_2^2 + 4x_1^2x_2 + 66x_1x_3 + 0x_2^2x_3^2 + 0x_1x_2x_3.$$

Для каждой одномерной регрессии число оцениваемых проектов равно трем.

В этом примере $K_1 = \{1; 1, 2; 1, 3; 1, 2, 3\}$; $K_1(1) = 1$; $K_1(1, 2) = \{1, 1; 2, 1\}$; $K_1(1, 3) = \{1, 1\}$; $K_1(1, 2, 3) = \{1, 1, 1\}$. Аналогично определяются все $K_l, K_l(i_1, \dots, i_l), l = \overline{2, 3}$.

Для переменной x_1 последовательно фиксируются 4 пары значений x_2, x_3 , и для каждой из них восстанавливается одномерная регрессия от переменной x_1 , коэффициенты которой позволяют составить систему из четырёх равенств для нахождения коэффициентов a_1, a_4, a_7, a_9 (коэффициенты при x_1 в первой степени) и одно равенство для нахождения a_6 (коэффициент при x_1 во второй степени).

Для переменной x_2 последовательно фиксируются 2 пары значений x_1, x_3 , и для каждой из них восстанавливается одномерная регрессия от переменной x_2 . Составляется равенство для нахождения коэффициента a_2 , а также система из двух уравнений для нахождения a_5, a_8 . Затем для переменной x_3 фиксируется пара значений x_1, x_2 , и для неё восстанавливается одномерная регрессия от переменной x_3 , что позволяет найти оставшийся коэффициент a_3 .

Таким образом, восстановленная функция принятия решений имеет вид:

$$y = 30 + 10x_1 + 50x_2 + 7x_3 + 36x_1x_2 + 19x_2^2 + 4x_1^2x_2 + 66x_1x_3 - 4.7 \cdot 10^{-16} x_2^2x_3^2 - 2 \cdot 10^{-15} x_1x_2x_3.$$

Примечание 2. Построение вектора \bar{u}^l по фиксированному вектору \bar{x}^l может быть следующим: компоненты вектора $\bar{u}^l(u_{1l}, \dots, u_{ml})$ являются переменными следующей задачи линейного программирования

$$\begin{aligned} \min c^T \bar{u}^l, \\ \bar{x}^l = B \bar{u}^l, \\ A_l \bar{u}^l \leq b, u_{il} \geq 0, l = \overline{1, m}, \end{aligned}$$

где A_l - это технологические матрицы ограничений, накладываемых на компоненты вектора \bar{u}^l , представляющего альтернативу A_l с фиксированными значениями компонент вектора агрегированных фактов \bar{x}^l . Линейный функционал $c^T \bar{u}^l$ - это, например, стоимость альтернативы A_l .

Список литературы: 1. Saaty T.L. Multicriteria Decision Making. The Analytic Hierarchy Process., - New York: McGraw Hill International, 1990.- p.437. 2. Saaty T., Kerns K. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. Вачнадзе Р.Г.: Под ред. Ушакова И.А. - М.: Радио и связь, 1991. - 223 с. 3. Saaty T. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Tomas Saaty. The Analytic Hierarchy Process. -Пер. с англ. Вачнадзе Р.Г. - М.: Радио и связь, 1993. - 315 с. 4. Тоценко В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект. - Киев: Наукова думка. - 2002. - 381 с. 5. Ларичев О.И. Теория и методы принятия решений. — М.: Логос, 2000. 296 с. 6. Павлов А.А., Лищук Е.И., Кут В.И. Математические модели оптимизации для обоснования и нахождения весов в методе парных сравнений. Системні дослідження та інформаційні технології 2007р. №2. 7. Павлов А.А., Лищук Е.И., Кут В.И. Математические модели оптимизации для обоснования и нахождения весов объектов по неоднородным матрицам парных сравнений. Системні дослідження та інформаційні технології 2007р. №3. 8. Павлов А.А., Лищук Е.И., Кут В.И. Многокритериальный выбор в задаче обработки данных матрицы парных сравнений. Вісник НТУУ „КПІ” Інформатика, управління та обчислювальна техніка, Київ 2007р. №46. 9. Павлов А.А., Иванова А.А., Зигура Р.А. Метод группового учёта аргументов и анализа иерархий (МГУАиАИ) в задачах принятия решений. Вісник НТУУ „КПІ” Інформатика, управління та обчислювальна техніка, Київ 2007р. №47.-350 с. - С.205-214. 10. Ивахненко А.Г., Мюллер И.А. Самоорганизация прогнозирующих моделей. - Киев: Техніка, 1985. - 221с. 11. Ивахненко А.Г., Юрачковский Ю.В. Моделирование сложных систем по экспериментальным данным. -М.: Радио и связь, 1986. -118с. 12. Павлов А.А., Чеховский А.В. Сведение задачи построения многомерной регрессии к последовательности одномерных задач // Вісник НТУУ «КПІ» Інформатика, управління та обчислювальна техніка. - 2008 р. - №48. 13. Худсон Д. Статистика для физиков. Москва, Мир, 1970. 14. Павлов А.А., Чеховский А.В. Построение многомерной полиномиальной регрессии (активный эксперимент). // Системні дослідження та інформаційні технології, Інститут прикладного системного аналізу НАН України та Міносвіти і науки України, №1 2009 р. (в печати).

Л. М. ЛЮБЧИК, д-р техн. наук, профессор НТУ «ХПИ»,
Ю. В. КОНОХОВА, аспирант НТУ «ХПИ»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ И ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАПИТАЛА СТРАХОВОЙ КОМПАНИИ

В статті пропонується модель, що описує процес формування капіталу страховика з урахуванням його доходів як від страхової, так і інвестиційної діяльності

В статье предлагается модель формирования капитала страховщика с учетом доходов как от его страховой, так и от инвестиционной деятельности.

The paper is devoted to the consideration of the model of insurer capital, taking in account the income both from its insurance and from investment activities.

Введение. Анализ и оптимизация процессов функционирования страховой компании должен основываться на учете взаимосвязи страхового и инвестиционного видов деятельности страховщика. Непосредственно страховая деятельность направлена на предоставление страхователям страховой защиты. Она включает в себя сбор страховых платежей, формирование страховых резервов и выплату страховых возмещений. Финансовая деятельность страховой компании включает в себя управление средствами компании - как привлеченными (страховыми резервами), так и собственными. В Западной Европе и США в настоящий момент страховые компании получают прибыль исключительно от инвестиционной деятельности и являются наиболее крупными инвесторами [1, 2]. В Украине инвестирование в страховании приобретает все большее значение, так как в борьбе за клиентуру компании вынуждены снижать страховые ставки до приемлемого минимума, а некоторые даже проводят демпинговую политику. Естественно, с целью увеличения прибыли руководство компании должно проводить активную инвестиционную политику. Исследования в области инвестиционной деятельности страховых компаний требуют рассмотрения процесса формирования капитала страховщика с учетом как его страховой, так и финансовой деятельности [3, 4]. Указанные вопросы недостаточно освещены в отечественной экономической литературе, хотя именно одновременное рассмотрение двух видов деятельности компании в их взаимосвязи позволяет с более высокой степенью точности оценить состояние страховщика и составить адекватную модель процесса формирования его капитала.

Цель настоящей работы состоит в исследовании взаимного влияния страховой и финансово-инвестиционной деятельности страховщика на основе построения математической модели формирования и использования капитала компании с учетом обоих видов деятельности.

Постановка задачи разработки модели формирования и использования капитала страховой компании. Процесс формирования и использования капитала страховщика может быть исследован на основе анализа финансовых потоков страховой компании, схема взаимодействия которых представлена на рисунке.



Схема формирования и использования капитала страховой компании

Следует отметить, что каждый модуль данной схемы отображает множество процессов, которые осуществляет компания. Данная работа посвящена тому, чтобы не только определить, но и формализовать те процессы, которые способствуют как формированию, так и использованию капитала страховщика. Для этого рассмотрим основные составляющие процесса формирования капитала страховой компании.

Модель процесса формирования начального капитала компании. Приведенная модель построена в предположении, что капитал компании в заданном (текущем) отчетном периоде (месяце, квартале, годе) равен $K(T)$ и зависит от объема капитала в предыдущем периоде $K(T-1)$. Таким образом, периодом T назван рассматриваемый период, а $(T-1)$ - период предшествующий ему. Если компания только начинает функционирование, то $K(T)$ - это уставный фонд компании, в дальнейшем - капитал, накопленный за предыдущий отчетный период (месяц, квартал, год).

$$K(T) = F(T-1) + KI(T-1) + KP(T-1) - KR(T-1), \quad (1)$$

где $F(T-1)$ - размер уставного фонда и дополнительных фондов компании в периоде $(T-1)$,

$KI(T-1)$ - размер дивидендов от размещения средств компании, полученный в периоде $(T-1)$,

$KP(T-1)$ - доход компании от продажи объектов инвестирования, полученный в периоде $(T-1)$,

$KR(T-1)$ - расходы, осуществленные компанией в периоде $(T-1)$.

В начале страхового цикла страховщик увеличивает собственный капитал за счет поступления страховых платежей. Сумма потока страховых платежей, поступивших за отчетный период может быть представлена как

$$SP(T) = \sum_{i=1}^m SP_i(T), \quad (2)$$

где $SP_i(T)$ - страховой платеж, выплачиваемый по договору страхования i в рассматриваемом периоде,

i - номер договора страхования,

n - количество договоров страхования компании.

Потоки поступающих страховых платежей аккумулируются в компании. В первую очередь, из совокупного потока поступивших страховых платежей компания должна выплатить государственный сбор [5,6], зарезервировать сумму, необходимую для оплаты расходов компании как юридического лица и сформировать резервы незаработанных премий

$$K(T) = SP(T) \cdot (1 - \eta l - \mu l) + K(T-1), \quad (3)$$

где $SP(T)$ - объем собранных за период T страховых премий,

ηl - доля объема поступлений, которая выплачивается в качестве налогов и сборов государству,

μl - доля общего объема поступлений страховых платежей, которая должна быть направлена на обеспечение функционирования компании.

Из оставшейся суммы страховщик должен сформировать страховые резервы и в первую очередь - резерв незаработанных премий (обязательный), резерв предупредительных мероприятий, катастроф, колебаний убыточности (необязательные). Объемы резервов рассчитываются согласно Методике формирования и размещения страховых резервов [5, 6].

Учет доходов от размещения страховых резервов. В настоящее время большинство резервов размещается на депозитах, что позволяет рассчитывать доход от размещения резервов как:

$$K(T) = \sum_{j=1}^J K(T-1) \cdot \theta_j \cdot (1 + d_j) \cdot (1 - g), \quad (4)$$

где $K(T-1)$ - объем капитала страховой компании в период $(T-1)$,

θ_j - доля размещения собственных средств в периоде $(T-1)$ в объект инвестирования j ,

d_j - доходность объекта инвестирования j в периоде $(T-1)$,

g - темп инфляции в период $(T-1)$.

Учет страховых выплат, осуществляемых страховой компанией. Поток страховых выплат - исходящий поток страховых возмещений, которые компания должна осуществить согласно заключенным договорам страхования. Общую сумму страховых выплат в периоде T можно записать как

$$SV(T) = \sum_{i=1}^m SV_i(T), \quad (5)$$

где i - номер договора страхования, по которому наступил страховой случай,

m - общее количество договоров страхования, по которым произошли страховые случаи за рассматриваемый период $m \leq n$,

SV_i - размер страхового возмещения, которое необходимо уплатить по страховому случаю, для которого был заключен договор страхования i .

Естественно, что и количество наступивших страховых событий, и размеры убытков по ним - случайные величины, определение законов распределения для которых также является задачей актуарной математики.

Следующий этап является конечным для страхового цикла. На нем определяется прибыль от страховой деятельности компании:

$$K(T) = K(T-1) - SV(T-1). \quad (6)$$

Основная задача страховой компании на этом этапе — расплатившись со страхователями оценить сложившуюся ситуацию с собственной платежеспособностью [1, 7-9] и в зависимости от ситуации внести коррективы в управление компанией.

Модель формирования капитала компании с учетом размещения собственных средств. Если в ходе анализа был сделан вывод о том, что состояние компании стабильно, перед руководством встает вопрос о дальнейшем распределении средств. Основными направлениями распределения средств компании являются выплата дивидендов ее акционерам, развитие бизнеса и размещение средств в инвестиционные проекты [1, 5, 6]. В упрощенном виде вычисление размера капитала

страховой компании с учетом дохода от инвестирования может быть произведено по формуле:

$$K(T) = KI(T-1) + KP(T-1) - KR(T-1), \quad (7)$$

где $KI(T-1)$ - доход от размещения средств компании на предыдущем периоде с учетом инфляции,

$KP(T-1)$ - доход компании от продажи объектов инвестирования, полученный в предыдущем периоде,

$KR(T-1)$ - расходы, осуществленные компанией в период $(T-1)$.

Безусловно, в зависимости от объекта инвестирования вид функции капитала страховой компании с учетом дохода от размещения средств будет видоизменяться, но принцип определения этого показателя останется неизменным.

Выводы. Таким образом, в статье были описаны и проанализированы финансовые потоки, обеспечивающие формирование и распределение капитала страховой компании. Кроме того, эти потоки были формализованы: для каждого из этапов формирования капитала составлено уравнение, описывающее эти этапы. Детальная разработка и формализация факторов формирования и распределения капитала страховой компании составляет предмет дальнейших исследований.

Список литературы: 1. Чернова Г. В. Основы экономики страховой организации по рисковому виду страхования — СПб.: Питер, 2005 — 240 с. 2. Зайцев М. Б. Экономико-математическая модель платежеспособности страховой организации. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата экономических наук. Санкт-Петербург, 2002. 3. Шеннур А. А. Модели и методы автоматизированного управления основной деятельностью страховой компании. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Донецк, 2007. 4. Бондарев Б. В. Математические модели в страховании. Донецк: АПЕКС, 2002. 5. Закон Украины "Про страхування" (85/96 - ВР). 6. Закон України "Про фінансові послуги та державне регулювання ринків фінансових послуг" (2664 - 14). 7. Фалин Г. И. Математический анализ рисков в страховании. - М.: Российский издательский дом, 1994. - 130 с. 8. Шахов В. В., Медведев В. Г., Миллерман А. С. Теория и управление рисками в страховании. - М.: Финансы и статистика, 2002. - 224 с. 9. Яшина Н. М. Обеспечение финансовой устойчивости страховой организации: теория, методология и практика. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора экономических наук, Москва – 2008.

Поступила в редколлегию 18.12. 08

Л. М. ЛЮБЧИК, д-р техн. наук, профессор НТУ «ХПИ»,
В. М. СОЛОЩУК, аспирант НТУ «ХПИ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИНАМИКИ РАЗВИТИЯ ПРОЕКТА ПО РАЗРАБОТКЕ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЙ ГОТОВНОСТИ ПРОДУКТА

В статті розглянуто модель станів готовності вимог до програмного продукту, яка може бути використана як основа для моделювання динаміки розвитку проекту. Описано формальну модель структури проекту по розробці програмного забезпечення. Зроблено допущення про можливість використання теорії марківських процесів для моделювання через схожість процесів.

В статье рассмотрена модель состояний готовности требований к программному продукту, которая может быть использована для моделирования динамики развития проекта. Описана формальная модель структуры проекта по разработке программного обеспечения. Сделано предположение про возможность использования теории марковских процессов для моделирования из-за схожести процессов.

The states model of software product requirements is described in the paper. This model can be used as a basis for modeling the dynamics of a project development. The formal model of software project structure is described. The assumption is made that the theory of markovian processes can be used for the further modeling because of the similarity of the processes.

Введение. В настоящее время задача оценки параметров проектов по разработке программного обеспечения (ПО) с применением различных математических и статистических методов является актуальной, т.к. позволяет минимизировать неопределенность в планировании, что существенно уменьшает риск провала проекта [1]. Однако большинство моделей оценки параметров проекта по разработке ПО являются статичными и не позволяют оценить динамику развития проекта. Для анализа динамики развития проекта применяются методы системной динамики и имитационного моделирования [2-4]. При моделировании динамики проекта по разработке ПО также используют модели, которые существуют для опытно-конструкторских проектов, которые заключаются в разработке сложного инженерного продукта командой инженеров [5]. При этом имеет место множеством факторов неопределенности в самом продукте, параметрах команды и самом процессе разработки. Для охвата всех процессов проекта необходимо учитывать работы, которые приносят вклад в увеличение разрабатываемого продукта (программирование, разработка документации), и работы, которые не вносят непосредственного вклада в увеличение размера продукта (тестирование, управление) [6]. Математическая модель для анализа динамики развития проекта должна быть практически применима, т.е. она должна учитывать реальные объекты и процессы, которые можно четко идентифицировать и измерить в реальном проекте. Для этого можно использовать классические методы идентификации моделей операций [7].

Структура проекта по разработке ПО. Существует множество методологий разработки ПО, однако существует ряд основных объектов, который присутствует в структуре проекта для любой методологии [8].

Требования к программному продукту. Различают разные уровни детализации и описания требований к программному продукту, а именно бизнес-требования, пользовательские требования, функциональные и нефункциональные требования. Функциональные и нефункциональные требования являются основными для дальнейшего использования в проекте. Одной из наиболее удобных классификации требований к программному продукту является модель FURPS, что означает:

- Functionality (Функциональность);
- Usability (Применимость);
- Reliability (Надежность);
- Performance (Производительность);
- Supportability (эксплуатационная пригодность);

Требования к проекту и процессу. Под требованиями к проекту понимаются требования к процессу разработки, т.е. к тому, какая методология будет использована, какова структура этапов разработки, длина итераций, структура ролей в проекте, распределение трудозатрат между различными процессами и стадиями в проекте и т.д. Сюда же относятся вопросы формулирования требований к проекту, т.е. к тому, как разработчик будет выполнять работы по созданию целевой системы.

Иерархическая структура работ (ИСР, или Work Breakdown Structure, WBS). ИСР – это согласованная с результатами поставки иерархическая декомпозиция работ, которые команда проекта должна выполнить для достижения целей проекта и создания оговоренных результатов поставки [9]. С ее помощью структурируется и определяется все содержание проекта. ИСР подразделяет работы проекта на более мелкие и более управляемые части, где на каждом более низком уровне ИСР дается более детальное определение проектных работ. Для запланированных работ, соответствующих элементам низшего уровня ИСР (их еще называют пакетами работ), можно определять график выполнения, сметную стоимость, осуществлять наблюдение и контроль над ним.

Структура команды и календарь ресурсов. Структура команды задает, какие ресурсы, т.е. какие специалисты, имеются для выполнения проекта. Для выполнения каждой задачи необходим свой вид ресурсов. Классификация ресурсов может различаться для разных методологий разработки. Необходимо отметить, что один ресурс может совмещать в себе несколько ролей и, соответственно, может быть задействован для выполнения различных видов работ. Календарь ресурсов является календарем рабочих и нерабочих дней, определяющий, в какие даты каждый ресурс может или не

может быть использован. Обычно содержит определенные рабочие и нерабочие периоды каждого ресурса [9].

Календарный план проекта включает в себя календарное расписание выполнения работ по проекту в соответствии с ИСР и с учетом доступности ресурсов из календаря ресурсов. При этом указываются следующие параметры для работ: номер работы в соответствии ИСР, название работы в соответствии ИСР, выделенный ресурс для выполнения данной работы, длительность выполнения работы, дата и время начала работы, дата и время окончания работы, предшествующие работы, последующие работы. Также в плане указываются ключевые точки выполнения проекта. Календарный план проекта может быть представлен как в табличном виде, так и с использованием диаграммы Ганта (Gantt Chart, также иногда употребляют термин *столбиковая горизонтальная диаграмма*) [9].

№	Название задачи	Начало	Завершение	Продолжительность	2004				2005					
					01	02	03	04	01	02	03	04		
1	Фаза 1 - ПОДГОТОВКА	01.01.2004	24.03.2004	60d	█	█	█	█						
2	Нанять консультант	01.01.2004	21.01.2004	15d	█									
3	Разместить центр данных	22.01.2004	18.02.2004	20d		█	█	█						
4	Разместить филиалы	19.02.2004	10.03.2004	15d			█	█						
5	Активировать ISDN и службу Frame Relay	11.03.2004	24.03.2004	10d				█	█					
6	ФАЗА 2 - РАЗВИТИЕ	25.03.2004	26.05.2004	45d		█	█	█	█					
7	Установить службы VAN	25.03.2004	14.04.2004	15d			█	█						
8	Увеличить загрузку EDI	15.04.2004	26.05.2004	30d					█	█				
9	Перенести центры управления запасами	27.05.2004	18.08.2004	60d						█	█	█		
10	ФАЗА 3 - Установка связи	19.08.2004	29.12.2004	95d						█	█	█	█	
11	Сократить офисы региональных торговых представителей	19.08.2004	20.10.2004	45d							█	█		
12	Открыть офисы для продавцов	21.10.2004	29.12.2004	50d								█	█	
13	ФАЗА 4 - СЕЗОННЫЙ ПЕРСОНАЛ	30.12.2004	25.05.2005	105d									█	█
14	Организовать работу сезонных офисов	30.12.2004	19.01.2005	15d										█
15	Открыть дополнительные офисы для продавцов	20.01.2005	02.03.2005	30d										█
16	Завершить проект Service 21	03.03.2005	25.05.2005	60d										█

Рис. 1. Пример диаграммы Ганта

Постановка задачи. Для моделирования динамики развития проекта необходимо формально описать структуру проекта на основе перечисленных выше элементов, которые входят в структуру проекта по разработке ПО. Структура проекта также должна включать в себя модель перехода требований к продукту из одного состояния готовности продукта к другому. Переходы из одного состояния готовности требований к продукту к другому состоянию готовности обусловлены методологией разработки проекта.

Параметры и элементы математической модели проекта по разработке ПО. В соответствии с описанной структурой проекта введем следующее формальное описание объектов и параметров проекта.

Объекты для описания структуры требований к процессу. Данные объекты должны учитывать специфику методологии разработки, которая используется в моделируемом проекте:

- L – множество видов работ (операций), которые существуют в выбранной методологии разработки;
- S – множество состояний готовности требований к продукту;
- $W = \{w_{ij}\}$ – матрица с типами работ для перевода требований между состояниями;
- w_{ij} – тип работы для перевода требования из состояния i в состояние j , где $i \in S, j \in S, w_{ij} \in L$;
- $P = \{p_{ij}\}$ – матрица вероятности переходов между состояниями;
- p_{ij} – вероятность перехода из состояния i в состояние j , где $i \in S, j \in S$;
- $\sum_{i \in S} p_{ij} = 1$ – условие полноты выхода из любого состояния;
- A – множество артефактов, которые могут быть разработаны в ходе проекта.

Пример множества видов работ $L = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$, где:

- 1: специфицирование требований;
- 2: проектирование архитектуры программного продукта (бизнес-логика, пользовательский интерфейс, структура данных и базы данных);
- 3: программирование;
- 4: проверка качества / тестирование;
- 5: отправка требования на доработку, описание дефекта
- 6: одобрение запрограммированного требования;
- 7: исправление обнаруженных дефектов;
- 8: выпуск версии, в которую будет включено требование;

Пример множества состояний готовности $S = \{1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8\}$, где:

- 1: выявленное требование (выявлено, но еще не описано детально);
- 2: специфицированное требование (проанализировано и включено в спецификацию требований к разрабатываемому ПО);
- 3: спроектированное требование (включено в описание архитектуры к разрабатываемому ПО);
- 4: разработанное требование (запрограммировано и включено в текущую рабочую версию ПО);
- 5: протестированное требование (проверено на дефекты и соответствие требованиям в составе запрограммированного ПО);
- 6: дефектное требование (выявлены дефекты в функционировании или имеет место неправильная реализация требования);
- 7: одобренное требование (прошло тестирование и одобрено к включению в текущую версию продукта);

- 8: выпущенное требование (включено в официальную сборку ПО).
- Переходы между состояниями, которые задаются матрицей W , определяются используемой методологией разработки, и может быть представлено в виде сети. Пример такой сети представлен на рис. 1.

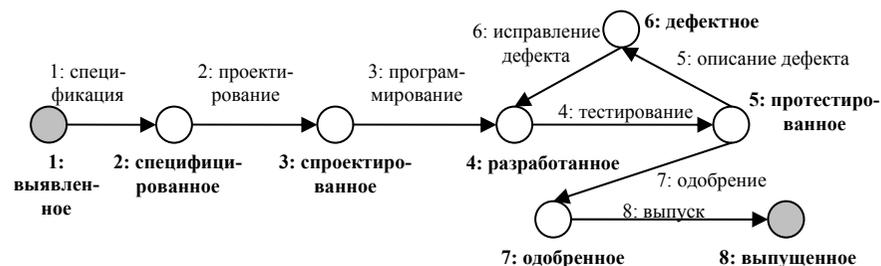


Рис. 2. Сеть переходов между состояниями требования к программному продукту

Объекты для описания структуры требований к продукту. Введем обозначения для описания параметров требований к программному продукту:

- Q – множество типов требований;
- R – множество требований к разрабатываемому программному продукту;
- M_r – множество требований, которые необходимо реализовать до начала реализации r -го требования, $r \in R$;
- $A = \{b_r\}$ – множество с типами по каждому требованию, $r \in R$;
- a_r – тип r -го требования, $r \in R, a_r \in Q$;
- $B = \{b_r\}$ – множество с текущим состоянием готовности по каждому требованию, $r \in R$;
- b_r – состояние готовности r -го требования, $r \in R, b_r \in S$;
- z_r – размер r -го требования, $r \in R$;
- c_r – приоритет реализации r -го требования, $r \in R$.

Объекты для описания ресурсов и календаря ресурсов. Введем обозначения для описания параметров ресурсов:

- K – множество доступных ресурсов;
- $V_k = \{v_{kql}\}$ – матрица производительностей труда для k -го ресурса;
- v_{kql} – производительности труда при выполнении k -м ресурсом l -го типа работы для q -го типа требований, где $q \in Q, k \in K, l \in L$.

Если k -й ресурс не умеет выполнять l -го типа работы для q -го типа требований, тогда: $v_{kql} = 0$. Если k -й ресурс умеет выполнять l -й тип работы для q -го типа требований, тогда функция производительности труда является

сложной функцией от множества переменных: $v_{kql} = v(k, q, l, z, \dots)$, где z – размер требования.

Доступные промежутки времени для выполнения работ у k -го ресурса:

- T_k – множество начальных моментов рабочих промежутков времени;
- D_k – множество длительностей рабочих промежутков времени.

Календарный план проекта. Календарный план проекта представляет собой план перевода требований из начальных состояний в конечные состояния с фиксацией конкретных значений для всех вероятностных величин и неопределенностей.

Основой для построения календарного плана является длительность выполнения каждой работы по переводу требований из одного состояния в другое. Длительность перевода r -го требования из i -го состояния в j -е состояние можно задать в виде следующей функции:

$$d_{rij} = \frac{z_r}{v(k, q, w_{ij}, z_r, \dots)}, \quad (1)$$

где $i \in S$, $j \in S$, $q \in Q$, $k \in K$, $w_{ij} \in L$,

z_r – размер требования r -го требования, $r \in R$,

k – номер ресурса, который осуществляет данную работу;

q – тип требования;

w_{ij} – тип работы для перевода i -го состояния в j -е состояние.

Календарный план должен также включать оценку последовательности изменения состояний требований с учетом матрицы вероятностей перехода P .

Методика построения модели динамики развития проекта. Решение данной задачи должно включать в себя:

- оценку параметров проекта: длительность, трудозатраты, стоимость ресурсов, уровень качества;
- оценку потребностей в ресурсах и их загрузку во временном разрезе;
- оценку календарного плана проекта;
- оценка динамики изменения состояния готовности требований и размера требований в каждом из состояний.

Описанная ранее формальная модель структуры проекта может быть использована для решения перечисленных выше задач. Однако для этого необходимо еще дополнить модель следующими возможностями:

- выбрать методы и алгоритмы для проведения моделирования;
- разработать метод оценки производительности труда ресурсов, т.е. метод построения функции $v_{kql} = v(k, q, l, z, \dots)$;
- разработать функцию динамического изменения множества требований R с течением времени $R = R(t)$.

Оценку каждого параметра лучше всего выдавать в виде ряда значений с указанием уровня достоверности каждого значения, т.е. вероятности достижения такого значения. На рис. 3 показан график оценки даты окончания проекта, которое зависит от вероятной длительности проекта. Аналогичные оценки должны выдаваться и для трудозатрат, стоимости, уровня качества и прочих параметров.

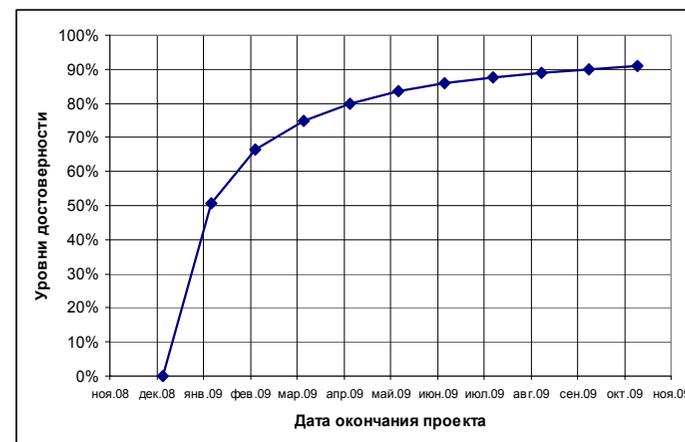


Рис. 3. Пример оценки даты окончания проекта с учетом уровня достоверности оценки

Решение задачи моделирования динамики развития проекта позволит также выдавать оценку динамики изменения состояния требований и размера требований в каждом из состояний в виде, представленном на рис. 4.

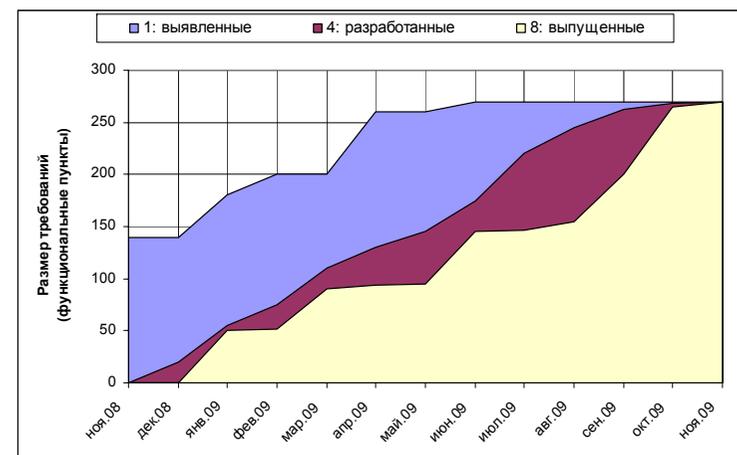


Рис. 4. Динамика изменения размера требований в разных состояниях готовности

Выводы. В данной статье показан метод формального описания модели структуры проекта по разработке ПО. Кроме того, была сформулирована задача прогнозирования динамики развития проекта, для решения которой предполагается использовать разработанную модель структуры проекта. Описанная модель включает в себя модель изменения состояний требований к программному продукту. С математической точки зрения мы получили модель, которая обладает несколькими важными свойствами:

- требования к программному продукту являются объектами, которые могут иметь несколько состояний;
- состояние объектов меняется по заданному алгоритму от порождающего состояния к поглощающему состоянию;
- переход из одного состояния в другое задается некоторой вероятностью перехода;
- объект всегда находится в состоянии некоторое время;
- с течением времени могут появляться новые требования, т.е. могут порождаться новые объекты;
- процесс является конечным.

Перечисленные свойства позволяют сказать, что данный процесс может быть описан моделью марковских процессов. В дальнейшем предполагается применить методы моделирования марковских процессов для решения поставленной задачи моделирования динамики развития проекта.

Список литературы: 1. Макконнелл С. Сколько стоит программный проект (Software Estimation: Demystifying the Black Art). – Издательство «Питер», Русская Редакция, 2007. – 304 с. 2. Abdel-Hamid T., Madnick S.E. Software Project Dynamics: an Integrated Approach. – Prentice-Hall Software Series, Prentice-Hall Publishing Co., Englewood Cliffs, NJ, 1991 – 264 p. 3. Lakey P. A Hybrid Software Process Simulation Model for Project Management // Proceedings of ProSIM 2004 Conference, prosim.pdx.edu – 2004. 4. Madachy R.J. System dynamics modeling of an inspection-based process // Software Engineering, 1996., Proceedings of the 18th International Conference on 25-29 Mar 1996. P. 376-386. 5. Soo-Haeng Cho, Eppinger S.D. A simulation-based process model for managing complex design projects // Engineering Management, IEEE Transactions. Volume: 52. Issue: 3, Aug. 2005. P.316- 328. 6. Sangwon Han, Sang Hyun Lee, Fard M.G., Pena-Mora F. Modeling and representation of non-value adding activities due to errors and changes in design and construction projects // Simulation Conference, 2007 Winter. 9-12 Dec. 2007. P. 2082-2089. 7. Первозванский А.А. Математические модели в управлении производством. – Главная редакция физико-математической литературы издательства «Наука», М., 1975. – 616 с. 8. Соммервилл И. Инженерия программного обеспечения, 6-е издание.: Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2002. – 624 с. 9. A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide), 3rd edition. – Project Management Institute, Pennsylvania, USA, 2004. – 401 p.

Поступила в редколлегию 15.12.08

УДК 658.012

Н.С. ЛЕСНАЯ, канд. техн. наук, доцент ХНУРЭ,
А.В. ЛЯХОВЕЦ, аспирант ХНУРЭ

МОДЕЛЬ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРОЦЕССОВ КРЕДИТОВАНИЯ ОБРАЗОВАНИЯ

В статті представлений аналіз ситуації на ринку кредитів на освіту. Описана сучасна ситуація контрактної освіти. Проаналізовані данні про кредитні пропозиції українських та закордонних банків. Представлений аналіз стратегії розвитку кредитування освіти в різних банках. Запропоновано модель для аналізу даних позичальника/ абітурієнта. У запропонованій моделі дані з різних сфер (особисті, дані навчального закладу, дані батьків) аналізуються різними методами. Таким чином банк та університет будуть мати точніший прогноз поведінки студента та зробиють більш вірне рішення о видаванні кредиту.

В статье представлен анализ ситуации на рынке образовательных кредитов. Описана современная ситуация контрактного образования. Проанализированы кредитные предложения украинских и зарубежных банков. Представлен анализ стратегии развития кредитования образования в различных банках. Предложена модель для анализа данных заемщика/ абитуриента. В предложенной модели данные с разных сфер (личные, данные учебного заведения, данные родителей) анализируются разными методами. Таким образом банк и университет будут иметь более точный прогноз поведения студента и примут более правильное решение о выдаче кредита.

In the article presented the analysis of the market situation of credits for education. Modern situation of paid education is described. Data and information about credit offers of Ukrainian and foreign banks are analyzed. Strategy of education loan development in different banks described. Model for analyzing of borrower/ school-leaver data is proposed. In proposed model data from different areas (personal, educational organization, parents) and by different methods are analyzing. So bank and educational organization will get more accurate forecast of student behavior and make more correct decision about giving the education loan.

Введение. Хотя учиться никогда не поздно, лучше осваивать науки вовремя. Если покупку любого товара можно отложить до лучших времен, то получение образования откладывать не стоит. Заслужить право обучаться за счет государственного бюджета под силу далеко не всем вчерашним школьникам. Но стоимость контрактного обучения весьма велика, а часто это единственная возможность.

49% студентов отечественных вузов сегодня обучаются на контрактной основе. Платное образование пока еще нельзя назвать доступным для большинства украинцев. Стоимость обучения в престижном ВУЗе составляет \$1-10 тыс. в год. Еще сюда необходимо добавить стоимость проживания, питания и проезда – и получите далеко не радужную картину студенческих расходов.

Кредитование граждан в образовательной сфере давно используется многими странами мира. Созданы специальные отделения банков, организованы кредитные союзы и общества, способствующие получению

денег на образование. В Украине этот вид услуг стал развиваться недавно, но общие тенденции уже наметились.

В странах Западной Европы существует четко разработанный механизм, позволяющий всем желающим получить высшее образование. Так, в Германии (где 90% студентов и без того обучаются бесплатно) учащиеся из малообеспеченных семей могут рассчитывать на получение государственного беспроцентного кредита, который возвращается только после окончания вуза. Да и то не весь, а только в размере половины предоставленной суммы [1]. На Западе подобные примеры – не единичное явление.

Согласно Закону Украины «О содействии социальному становлению и развитию молодежи в Украине», ссуды могут выдаваться для обучения в высших учебных заведениях разных форм собственности под приемлемую процентную ставку в 3% годовых. Но право на государственную помощь имеют далеко не все. Заемщиками могут стать лишь студенты в возрасте до 28 лет, успешно сдавшие вступительные экзамены или уже обучающиеся в вузе. На получение подобного кредита можно рассчитывать лишь единожды, но на все формы обучения (дневной, заочной и вечерней). Средства на долгосрочное кредитование строго ограничены, и выделяются как за счет местных, так и государственного бюджетов. В 2007 году в казне на эти цели было предусмотрено 14715 тыс. гривен примерно для 3600 студентов (в среднем, по 4000 гривен каждому).

В Украине "чистых" кредитов на обучение фактически не существует (т.е. человек начинает выплачивать кредит после окончания ВУЗа). Это возможно лишь на базе ВУЗов, но далеко не у всех есть подобные программы. В данный момент кредит на обучение в Украине - это вид залогового кредита. Причём за его выплату отвечают родители, а не студент, так как последний не имеет постоянного места работы.

Украинский абитуриент пока что не может взять кредит без поручителей (родителей, юридических лиц). Но еще существуют возрастные и другие ограничения для поручителя. Это означает, что не каждый родитель сможет, если захочет выступить поручителем даже для родного ребенка. В качестве обеспечения кредита могут служить: залог имущественных прав на вклады физических лиц, сберегательные и депозитные сертификаты банка; жилые дома, квартиры и гаражи; недвижимость, оборудование или товары юридических лиц; автотранспорт; любое другое имущество потребительского и производственного назначения, кроме отдельных видов имущества, залог которого запрещен законом; поручительство физических и юридических лиц.

Сроки выплаты кредита колеблются от 5 до 15 лет. А процентная годовая ставка – от 18 до 22% в иностранной валюте, и от 24 до 26% в национальной валюте. Получается, что сразу после школы абитуриенту взять кредит на обучение в вузе не так-то и просто. Есть другие варианты: заслужить своими знаниями внушительные скидки при оплате, сэкономить на подготовительных курсах и поступить на бесплатное отделение.

После того как кредитование физических лиц успешно распространилось в регионы, этот вид банковской деятельности принял в Украине поистине массовый масштаб. Разумеется, современная экономическая ситуация и здоровая конкуренция подталкивают банки к расширению кредитного предложения. Наряду с понижением процентной ставки важнейшими факторами конкурентной борьбы банков за клиентов становятся простота оформления и скорость предоставления кредита. И один из вариантов расширения спектра услуг и привлечения новых клиентов – это кредит на образование с лояльными и пересматриваемыми условиями.

По оценкам, емкость рынка образовательного кредитования в Украине составляет 25-100 млн. долларов в год.

Место высших учебных заведений в кредитовании образования. Интегрировавшись в современную экономику, образование стало одной из отраслей, работа которой подлежит экономической оценке по параметрам «цена – качество». Переход к массовому производству работников высшей квалификации выдвинул требования, во-первых, гарантированного стандартного качества выпускников, способных эффективно работать и конкурировать на рынке труда. Во-вторых, появилось требование оптимизации затрат в условиях усложняющейся и растущей подготовки специалистов. Все это обуславливает изменение положения вузов, их превращение в рыночные субъекты, проводящие самостоятельную политику по привлечению ресурсов государства, домохозяйств, бизнеса.

Системы образовательных займов в современном мировом опыте развития высшего образования рассматриваются как механизмы обеспечения равного доступа к высшему образованию населения, принадлежащего к разным слоям общества, в том числе для студентов из малообеспеченных семей. Каждая из них обладает определенными сравнительными преимуществами и недостатками. Однако именно образовательные кредиты среди всех механизмов оказания финансовой помощи студентам более всего соответствует концепции инвестиций в человеческий капитал.

Главной целью кредитования высшего образования является финансовая помощь студентам, которые не способны полностью покрыть стоимость обучения в университете. Одним из условий того, что индивид выберет высшее образование, является платежеспособность этого индивида, т.е. возможность оплатить обучение в университете и нести сопутствующие расходы, связанные с покупкой учебников, компьютера, оплатой проживания и питания.

Студенческие займы стимулируют спрос на высшее образование, делая его более доступным и помогая преодолеть финансовые трудности, которые могут возникнуть во время обучения. У студентов появляется стимул хорошо учиться, чтобы по окончании вуза получить достойную работу и выплатить долг. Таким образом, высшее образование становится более «продуктивным».

Можно также отметить, что у студента появляется широкий выбор места учебы, не зависящий от стоимости обучения. Это может привести к повышению конкуренции среди высших учебных заведений.

Следовательно, заключая договоры с кредитными учреждениями и продвигая образовательные кредиты, высшие учебные заведения привлекают абитуриентов, повышают конкурентоспособность среди подобных учебных заведений и повышают продуктивность.

Образовательный кредит в украинских банках. Образовательный кредит – продукт относительно новый для отечественных банков. Большинство клиентов финансовых структур если и решаются брать ссуды, то для более прозаичных потребностей. Например, приобретения автомобиля, мебели или бытовой техники. Но эксперты финансового рынка отмечают постепенный рост популярности займов на обучение, особенно среди желающих получить второе высшее образование. Интересно, что к услугам банков чаще прибегают студенты государственных, а не частных университетов, что вполне объяснимо: в случае провала по конкурсу на бюджет они не готовы оплачивать обучение по контракту собственными силами.

Специальные кредитные программы для учащихся предоставляет далеко не каждый банк (по всей стране их не более десятка). Зачастую средства на обучение предлагают занять в рамках универсального потребительского кредита, рассчитанного на финансирование любых бытовых потребностей (покупки товаров, ремонта квартиры и т. п.). Как правило, заемщики не отчитываются, на какие цели были потрачены взятые в долг деньги. Поэтому и проследить динамику роста популярности подобных займов довольно сложно. Впрочем, уже сегодня некоторые банки начинают брать четкий курс на формирование услуг по предоставлению образовательных кредитов.

В «ПроКредит Банке» специальная кредитная программа для студентов находится на стадии разработки и в скором будущем будет запущена.

«Аваль» Прежде всего при оформлении кредита на обучение банк требует залога. Срок кредитования составляет 6 либо 12 месяцев. Так как кредит является беспроцентным, оплачивается только комиссию за открытие и ведение счета, которая зависит от срока кредита.

Банк «Аваль» выдает кредиты в размере от 1 000 до 5 000 гривен. Погашение кредита осуществляется ежемесячно, равными долями.

«ПРИВАТБАНК» банк наиболее активно продвигает услуги по кредитованию обучения. Имеется два предлагаемых продукта. Кредитная карта «Кредит на обучение» позволяет получить ссуду в размере до 50 тыс. гривен на довольно длительный срок (до 15 лет), поэтому ежемесячные выплаты доступны даже для самого скромного студенческого бюджета. Во время обучения погашаются только проценты, а тело кредита – после получения диплома. Кредитная программа «Обучайся легко!» рассчитана

всего на пять лет, зато предусматривает понижение процентной ставки для отличников. Единственный минус – ссуда может быть оформлена уже работающим студентом. В остальных случаях заемщиками могут выступать только родители учащегося.

«ИМЭКСБАНК» предоставляет образовательный кредит в размере до 25 тыс. гривен. Ссуда должна быть погашена не позже, чем через пять лет после окончания обучения. Для получения денег залог не требуется. Гарантом выступает страхование кредитного риска и жизни заемщика. Заемщиком может стать только работающий студент или его родители.

«Банк регионального развития» выдает образовательные кредиты трудоустроенным студентам, их родителям или опекунам сроком до 12 месяцев. Кредит погашается ежемесячно.

«ИКАР-БАНК» В этом банке можно взять ссуду для обучения в любом отечественном и даже зарубежном вузе, что является большой редкостью. Кредит предоставляется на весь срок обучения. Правда, за студента должны поручиться его родители или другие близкие родственники.

Исходя из выше приведенного можно сделать вывод, что в украинских банках нет общей стратегии выдачи кредитов на образование. Каждый банк выдает кредиты на образование исходя из своего собственного видения ситуации, но поскольку ситуация на рынке нестабильна и многогранна то вариантов может быть множество. В каждой конкретной ситуации принятие решения о возможности выдачи кредита на образование может потребовать той или иной стратегии. Если стратеги выбранная банком не подходит для данной ситуации, то банк или другая кредитная организация теряет потенциального клиента. В этой связи образовательные кредиты, предоставляемые отечественными банками, сложно назвать доступной альтернативой для представителей основной массы населения страны. В большинстве случаев это ассортиментный продукт рынка розничных банковских услуг, нацеленный на граждан с относительно высоким достатком. Т.е. банки сознательно ограничивают спрос на образовательные кредиты. Это связано прежде всего с выбором стратегии минимизации рисков невозврата образовательных кредитов.

В развитых странах Запада накоплен значительный опыт по данной тематике. В различных зарубежных банках условия выдачи кредитов на образование различны. В широких пределах варьируется процент, но в любом случае он существенно ниже процента в отечественных банках, что обусловлено экономической ситуацией в Украине. При сравнении условий кредитования в зарубежных банках различной может быть максимальная сумма кредита, может изменяться максимальная сумма не требующая залога. Но все это не существенные отличия от ситуации на украинском рынке кредитования. Главными отличиями являются сроки кредитования и условия выплаты кредитных средств. В зарубежных банках возможные сроки кредитования больше, условия выплаты кредита лояльнее чем в украинских

банках. Сроки выплаты кредита могут достигать 7 лет после получения диплома. Выплаты по кредиту могут быть начаты через год после окончания вуза или через 6 месяцев после получения работы.

Эволюция стратегий образовательного кредитования. Стратегии минимизации рисков при помощи рациирования образовательного кредита и высоких ставок процента, как показывает мировая практика, не очень эффективны. В результате использования этих стратегий возможны два типа дисфункций института образовательного кредитования. С одной стороны, при невыгодных для заемщика условиях кредитования соответствующие программы окажутся просто невостребованными. С другой стороны, будет наблюдаться проблема – привлечение на рынок агентов с наименее благоприятными характеристиками.

При высоких процентных ставках к финансированию образования при помощи кредитных схем будут прибегать студенты, априорно в большей степени склонные к дефолту долгов. В частности, заемщик, который понимает, что он вряд ли будет возвращать кредит, легко согласится на заведомо невыгодные условия получения кредита.

Ослабить проблему неэффективности стратегий минимизации рисков позволяет изучение факторов платежеспособности заемщиков. В частности, на Западе чрезвычайно распространены исследования, в которых анализируется влияние различных характеристик заемщиков (социально-демографические характеристики, доходы, сфера занятости, кредитная история и т.п.) на вероятность дефолтов по кредитам. В отечественных банках эти исследования также проводятся. Однако применение их результатов на практике ограничивается массовыми программами потребительского кредитования, предоставления займов на неотложные нужды, автокредитования.

Основная проблема оценки кредитоспособности получателя образовательного кредита – отсутствие необходимой статистической базы. Доля семей студентов, которые финансируют обучение в вузе в кредит, очень мала. Число заемщиков, которые закончили обучение и возвратили кредит, – еще меньше. В результате точность количественных оценок влияния различных характеристик заемщиков на вероятность дефолта по кредиту оказывается очень невысокой.

Предпосылки к созданию модели процессов кредитования в сфере образования. На данный момент украинские банки сталкиваются с рядом проблем, как при кредитовании образования, так и при кредитовании в других сферах:

1. Отсутствие специального законодательства.
2. Отсутствие кредитной истории заемщика.

3. Используемые зарплатные схемы предприятий. Работодатели зачастую отдают предпочтение 'серым' схемам выплаты вознаграждения своим работникам. Заемщик не может официально подтвердить уровень доходов, а банк лишается платежеспособного клиента.
4. Нет простого механизма возврата денег инвестору в случае несостоятельности заемщика.
5. Проблемы классификации. Необходима достоверная оценка потенциального заемщика, отсеивание 'плохих' заемщиков. Неверная классификация порождает проблему обеспечения возврата средств заемщиком в принудительном порядке.
6. Проблема залога. Механизм реализации залога – неудобное и дорогостоящее занятие. Отсутствие регистрации залога движимого имущества позволяет продать или повторно заложить недобросовестным заемщиком заложенное имущество.
7. Проблема оценки реальных возможностей поручителей. Большинство украинских банков решают вопрос снижения своих кредитных рисков путем простого переноса их на поручителей заемщика. При этом нередко поручителями, особенно при крупных размерах кредита, являются различные юридические лица (как крупные, так и средние и малые предприятия). В контексте будущих пластиковых кредитов такая практика будет применяться повсеместно, поскольку удобно выдать заемщику пластиковую карточку, а в случае каких – либо затруднений с возвратом кредита востребовать его с поручителя – предприятия, на котором он работает. На первый взгляд это должно решить проблему, но если более широко рассмотреть вопрос, то данная кредитная политика не гарантирует успеха в той степени, на которую полагаются банки. Стоимость поручительства считается равной рыночной стоимости предприятия. Но дело в том, что рыночная стоимость как предприятия, так и имущества является величиной непостоянной. Она, в основном, зависит от динамики экономики, т. е. на фазе экономического подъема рыночная стоимость увеличивается, а на стадии экономического спада стремительно уменьшается, т.е. при оценке необходимо учитывать будущую динамику. Возникает необходимость привлечения экспертов для прогнозирования макроэкономической ситуации. Только таким образом можно адекватно оценить будущую 'стоимость' поручительства на момент погашения кредита.
8. На данный момент из-за опасности кредитного обвала увеличивается объем резерва соответствующего выданным кредитным средствам. В связи с этим кредиты смогут быть выданы меньшему количеству клиентов. В этой ситуации еще больше возрастает

заинтересованность банка в выдаче кредитных средств более перспективному клиенту.

Исходя из вышеперечисленных проблем в сфере кредитовании, а также перспектив в образовательной системе можно сделать вывод что для более успешного развития кредитования образования необходима система которая при принятии решения о возможности кредитования и условий выдачи кредита будет анализировать не только данные клиента, но и данные учебного заведения и характеристик специальности выбранных клиентом, внешних факторов (возможность выезда за рубеж и т.д.).

Моделирование процессов кредитования в сфере образования.

При создании модели процессов кредитования в области образования необходимо учитывать следующие характеристики:

- Характеристики клиента (абитуриента): семейное положение, средний бал аттестата, результаты внешнего тестирования, прописка, награды и т.д.
- Характеристики учебного заведения и специальности: процент трудоустраиваемости выпускников данного вуза данной специальности, востребованность данных специалистов на отечественном и зарубежном рынках, средняя зарплата специалистов данной специальности сразу после окончания вуза и со стажем работы и т.д.
- Внешние факторы, имеющие влияние на систему образования и работу молодых специалистов.

Этапы подготовки для работы системы:

- Анализ характеристик для каждой из трех групп факторов и выделение наиболее весомых для принятия решения о возможности кредитования.

- Подготовка обучающих выборок

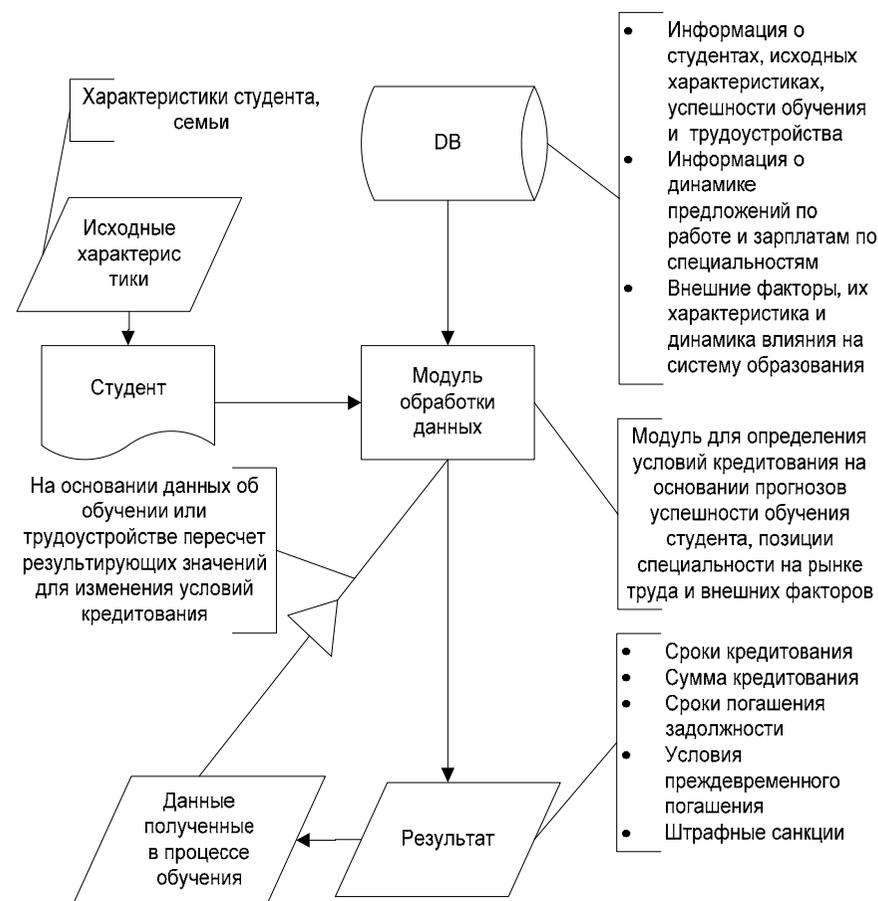
- Предобработка данных

- Сегментация объектов

Этапы работы системы:

- На вход системе подается информация о клиенте(абитуриенте), информация об учебном заведении и специальности, возможно некоторые дополнительные характеристики.
- Каждая группа характеристик анализируется в отдельном модуле. Производится классификация.
- Результаты по всем трем группам суммируются и, на выходе суммирующего блока пользователь получает оценку о целесообразности кредитования клиента, рекомендуемые условия кредитования (сроки кредитования, сумма кредита, сроки начала выплат и т.д.).

После истечения определенного промежутка времени условия кредитования могут быть пересмотрены с учетом изменившихся характеристик. Показатели учебного заведения, специальности, студента, успеваемости, внешних характеристик могут измениться с истечением времени, а также с расширением обучающей выборки – что потребует пересмотр условий кредитования (понижение процента для отличников и студентов прогрессивных специальностей).



Обобщенная модель системы поддержки процессов кредитования образования

Выводы. Украинский рынок образовательных кредитов еще мало развит, хотя уже наблюдается постоянное расширение предложений банков в области кредитования образования. К причинам непопулярности образовательного

кредитования относятся, в частности, слабая информированность населения о программах кредитования, неудовлетворенность существующими программами (например, высокие процентные ставки), недоверие к организациям, выдающим кредит (например, недостаточная прозрачность схемы расчета суммы платежей), а также боязнь перспективы жизни в долг, обусловленная спецификой менталитета. Сегодня родители предпочитают делать сбережения в течение многих лет, чтобы затем инвестировать их в образование своих детей.

Внедрение предложенной системы поможет банку в определении целесообразности кредитования заемщика и соответственно уменьшить риск невозврата кредита, представит более точную картину о заемщике, следовательно условия и процедура кредитования может быть более индивидуальна.

Упростив процедуру получения кредита на образование, повысив доступность образовательных кредитов для различных слоев населения, банки приобретут новых клиентов, университеты смогут привлечь большее количество абитуриентов, повысить свой уровень конкурентоспособности, а абитуриенты в свою очередь получают образование, не основываясь на ограниченности в средствах при выборе учебного заведения.

Список литературы: 1. Данкова Ю. Студенческий долг. //www.pro-robotu.com.ua. 2. Александрова Н.Г., Александров Н.А. Банки и банковская деятельность для клиентов.-СПб.: Питер, 2002. 3. Казимагомедов А.А. Услуги коммерческих банков населению. Уч. Пособие – СПб, 2000. 4. Усоскин В.М. Современный коммерческий банк. Управление и операции – М, 2003. 5. Финансы, денежное обращение и кредит: Учебник/Под ред. В.К. Сенчагова. –М.:Проспект, 2000. 6. Гурьев С. Мифы экономики: Заблуждения и стереотипы, которые распространяют СМИ и политики– М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. – 210с. 7. Погорельский А.Л., Иосад В.М. Дешевые образовательные кредиты – прорыв в будущее (Бизнес-структура социального проекта) // Университетское управление. 2006. № 3(43). С. 78-83 8. Джонстоун Д.Б. Система высшего образования в США: структура, руководство, финансирование // Университетское управление. 2006. № 3(43). 9. Паркер Т.Д. Государственное регулирование и частные студенческие ссуды // Университетское управление. 2006. № 3(43). С. 93-96. 10. Абанкина И.В., Домненко Б.И. и др. Перспективы образовательного кредитования в России // Вопросы образования. 2004. № 4. С. 64-88. 11. Матросов М.Б. Образовательные кредиты как инструмент повышения качества и доступности высшего образования. Опыт компании «Крэйн» по реализации программы образовательных кредитов «Кредо» // Университетское управление. 2006. № 3(43). С. 59-67. 12. Вудхол М. Студенческие кредиты: международный опыт // Университетское управление. Июль 2006. № 3(43). С. 36-41. 13. Кредитование образования. Аналитический доклад // Университетское управление. 2006. № 3(43). С. 7-35. 14. Johnstone D.B. Student Loans in International Perspective: Promises and Failures, Myths and Partial Truths 15. Андрущак Г.В., Юдкевич М.М. Спрос на образовательные кредиты: насколько востребован такой продукт // Банковский ритейл. – №2, 2007. 16. Прахов И.А., Савицкая Е.В. Образовательный кредит: зарубежный опыт и возможности использования в условиях асимметричной информации // Вопросы образования. – 1, 2007 17. Савицкая Н. Образовательные кредиты - блеф или реальность? Независимая газета. 2005. № 9. 21 января 18. Андрущак Г.В. Теория образовательных кредитов // Вопросы образования. 2006. № 1. С. 215–230.

Поступила в редакцию 30.09.08

И. В. КОНОНЕНКО, д-р тех. наук, профессор НТУ «ХПИ»,
Е. В. ЕМЕЛЬЯНОВА, аспирантка НТУ «ХПИ»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И МЕТОД МИНИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ ПО ПРОЕКТУ ПРИ ОГРАНИЧЕНИЯХ НА СРОКИ ВЫПОЛНЕНИЯ РАБОТ

В статті пропонується математична модель і метод мінімізації вартості робіт по проекту при обмеженнях на строки виконання робіт проекту при заданих альтернативних варіантах фрагментів мережних моделей робіт.

В статье предлагается математическая модель и метод минимизации стоимости работ по проекту при ограничениях на сроки выполнения работ проекта при заданных альтернативных вариантах фрагментов сетевых моделей работ.

In this paper mathematical model and method of work cost minimization on the project under constraints on works execution time of the project by the set alternative fragments variants of the network models works are offered.

Введение. В условиях нестабильной рыночной экономики планирование и выполнение инвестиционных проектов осуществляется в жестких рамках: с ограничениями, как по времени, так и по стоимости. Многие методы, применяющиеся в управлении проектами, направлены только на оптимизацию сроков выполнения работ без явного учета при этом стоимости работ. К таким методам относятся метод критического пути, метод ПЕРТ, метод ГЕРТ [1, 2].

Известны работы ряда авторов [3, 4], где применяются методы минимизации затрат по проекту при заданных ограничениях на использованные ресурсы. Данные методы можно разбить на две группы. К первой группе относятся эвристические, или приближенные методы, ко второй - методы составления оптимальных планов и основанные на использовании линейного программирования и метода частичного перебора [5, 6].

Существует широкий класс задач, в которых зависимости между стоимостью выполнения работ, их содержанием и временем являются дискретными. Возможные технологии выполнения работ и их совокупностей могут быть заданы альтернативными вариантами, отображаемыми с помощью сетевых моделей. Для данного класса задач отсутствуют методы решения.

Цель работы. Целью работы является разработка математических модели и метода минимизации затрат по проекту при ограничениях на сроки выполнения работ.

Предположим, что содержание проекта задаётся в виде сетевой модели.

При этом операции интерпретируются как узлы сети, а дуги описывают технологические взаимосвязи между операциями. Для каждого узла будем задавать время выполнения операции, а также необходимые финансовые ресурсы.

Значение целевой функции представляет собой затраты на осуществление проекта.

Ограничениями являются сроки выполнения проекта, а также требования о недопустимости задолженностей после завершения отдельных этапов работ.

Модель имеет вид:

$$\sum_{h=1}^H \sum_{j=1}^{M_h} w_{hj} x_{hj} = F \rightarrow \min_{x_{hj}}, \quad (1)$$

$$w_{hj} = \sum_{i=1}^{n_j} w_{hi^j}, \quad (2)$$

$$T_{\text{проекта}} \leq T^{\text{задан}}, T_{\text{проекта}} = \phi(x_{hj}), \quad (3)$$

$$S_h = S_{h-1} + K_h - w_{hj}, S_h \geq 0, h = \overline{1, H}, \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^{M_h} x_{hj} \leq 1, h = \overline{1, H}, \quad (5)$$

$$x_{hj} \in \{0, 1\}, j = \overline{1, M_h}, h = \overline{1, H}. \quad (6)$$

где w_{hj} – стоимость выполнения операций j -го варианта сетевой модели на h -м этапе (может складываться из стоимостей нескольких операций);

$T_{\text{проекта}}$ – длительность выполнения всех операций проекта;

M_h – количество вариантов выполнения операций на этапе $h, h = \overline{1, H}$;

h – номер этапа выполнения операций;

H – максимальное количество этапов;

x_{hj} – булева переменная (6), равная единице, если осуществляется j -й вариант выполнения операций на h -м этапе, и равная нулю в противном случае;

Значение целевой функции в формуле (1) рассчитывается как затраты на выполнение всех операций на всех этапах с помощью сетевой модели.

Для проверки условия (3) рассчитывается длительность критического пути в сетевой модели

$$G = \{A, Z, \tau, W\}, \quad (7)$$

где G – сетевая модель операций проекта;

A – множество узлов сети; $A = \{a_{hi^j}\}, h = \overline{1, H}, i = \overline{1, n_j}, j = 0, 1, \dots, M_h$.

Здесь a_{hi^j} – i -я операция, осуществляемая на h -м этапе в j -м варианте (альтернативе) сетевой модели;

n_j – количество операций в j -м варианте сетевой модели;

Z – множество направленных дуг, $Z = \{z_{hi^j, pk^f}\}, h, p = \overline{1, H}, i, k = \overline{1, n_j},$

$j = 0, 1, \dots, M_h, f = 0, 1, \dots, M_p$. Здесь z_{hi^j, pk^f} – дуга, которая выходит из узла i на этапе h альтернативного варианта j и входит в узел k на этапе p альтернативного варианта $f; i \neq k$ при $p=h; p \geq h$;

τ – множество сроков выполнения операций в узлах, $\tau = \{\tau_{hi^j}\}, h = \overline{1, H}, i = \overline{1, n_j}, j = 0, 1, \dots, M_h$;

W – множество стоимостей выполнения операций сети, $W = \{w_{hi^j}\}, h = \overline{1, H}, i = \overline{1, n_j}, j = 0, 1, \dots, M_h$.

Здесь w_{hi^j} – стоимость выполнения i -й операции на h -м этапе для j -го варианта сетевой модели;

S_0 – денежные средства, выделенные на выполнение проекта перед его началом;

S_h – остаток денежных средств после выполнения работ на h -м этапе.

K_h – объем денежных средств, выделяемых на h -м этапе;

Ограничение (4) предполагает, что при осуществлении проекта не должно быть финансовых задолженностей.

Выражение (5) характеризует ограничение, что на каждом этапе h можно начинать реализацию не более одного варианта.

Предложенная модель является динамической с булевыми переменными с аналитической целевой функцией с алгоритмическими и аналитическими ограничениями.

Для решения задачи предложен метод минимизации затрат выполнения проекта при ограничениях на его сроки, относящийся к группе методов неявного перебора.

Предположим, что альтернативные варианты сетевой модели могут относиться как к одному этапу выполнения работ, так и к нескольким этапам. Опишем в виде последовательных стадий подготовку информации для разработанного метода.

Выявить и описать альтернативы, их взаимосвязи друг с другом. Определить длительности и стоимости работ для каждой из альтернатив.

Провести анализ, цель которого заключается в выявлении альтернатив, которые охватывают несколько этапов. Если некоторая альтернатива охватывает более одного этапа, то эти этапы объединить в один.

Вычислить нижние границы стоимости выполнения операций на каждом h -м этапе, $h = \overline{1, H}$.

Вычисление значений нижней границы предполагает выполнение ряда следующих действий:

3.1. Для каждого из этапов $h = \overline{1, H}$ ввести логические вершины начала и окончания $S(start)$ и $T(target)$.

3.2. Для каждого из этапов $h = \overline{1, H}$ рассчитать стоимость выполнения всех операций отдельного этапа для всех альтернатив.

3.3. Для каждого из этапов $h = \overline{1, H}$ выбрать минимальную стоимость выполнения.

Для этого сначала рассчитывается $W = \{w_{hi}\}$ – множество стоимостей выполнения операций в сети, которое определяется из сетевой модели до начала итеративной части метода $h = \overline{1, H}$, $i = \overline{1, n_j}$, $j = 0, 1, \dots, M_h$. После этого находится w_{hi} – стоимость выполнения операций j -го варианта сетевой модели на h -м этапе (может складываться из стоимостей нескольких операций).

Затем для каждого из этапов h выбирается минимальная стоимость w_{\min_h} из j вариантов. В результате получим множество минимальных стоимостей:

$$W_{\min} = \{w_{\min_h}\}_{h=1}^H.$$

Рассчитываем w'_h – стоимость выполнения операций на всех этапах от 1-го до h -го включительно:

$$w'_h = \sum_{k=1}^h \sum_{j=1}^{M_k} w_{kj} x_{kj}. \quad (8)$$

По методу критического пути находим t_h – время выполнения операций на всех этапах от 1-го до h -го включительно.

Входные данные, необходимые для осуществления метода:

G – сетевая модель;

H – максимальное количество этапов;

$\{K_h\}_{h=1}^H$ – множество объемов выделенных средств для каждого из этапов;

$\{M_h\}_{h=1}^H$ – множество максимально возможных вариантов на каждом этапе;

w_{hj} – стоимость выполнения операций j -го варианта сетевой модели на h -м этапе (рассчитывается предварительно из сетевой модели и представляется в табличном виде);

$T^{задан}$ – максимально возможное время выполнения проекта. Значение $T^{задан}$ задаётся заказчиком перед началом планирования проекта;

Переменные:

f^* – значение рекорда;

f – текущее значение целевой функции;

h – номер этапа;

S_h – остаток денежных средств в конце этапа h ;

j_h – номер варианта на этапе h .

t_h – время выполнения операций на всех этапах от 1-го до h -го включительно;

w'_h – стоимость выполнения операций на всех этапах от 1-го до h -го включительно;

W'_{np_h} – нижняя граница для стоимости выполнения всех последующих этапов после h , которая представляет собой сумму вида:

$$W'_{np_h} = w_{\min_{h+1}} + \dots + w_{\min_H}, \quad (9)$$

где стоимости, являющиеся элементами множества $W_{\min} = \{w_{\min_h}\}_{h=1}^H$, рассчитываются способом, описанным ранее.

Результат решения:

W_H – искомое решение, множество выбранных вариантов j на всех H этапах. Перед началом решения данный вектор обозначим W_0 .

Рассмотрим предложенный метод минимизации затрат на выполнение проекта при ограничениях на его сроки:

1. Полагаем:

$$x_{hj} = 0, j = \overline{1, M_h}, h = \overline{1, H};$$

$$W_0 := \emptyset;$$

$$W_{\min} = \{w_{\min_h}\}_{h=1}^H;$$

$$h := 1;$$

$$f := 1;$$

$$f := 0;$$

$$f^* := +\infty.$$

2. Принимаем $j_h = 1$ то есть начинаем рассматривать 1-й вариант.

3. Проверяем выполнение ограничений задачи на этапе h :

$$S_h = S_{h-1} + K_h - w_{hj}, S_h \geq 0,$$

если ограничение не выполняется, переходим к шагу 8.

4. Вычисляем t_h (время выполнения операций на всех этапах от 1-го до h -го включительно) путём расчёта длительности критического пути в сети – $CPM(h,j)$ от первого этапа до этапа h включительно. Для этого вводится фиктивная вершина «финиш», обозначающая окончание всех операций h -го этапа.

Полагаем $T_{проекта} := t_h$ и проверяем выполнение второго ограничения задачи:

$$T_{проекта} \leq T_{задан},$$

если оно не выполняется, переходим к шагу 8.

5. Рассчитываем текущее значение функции: w'_h . Полагаем $f := w'_h$.

Вычисляем $W'_{np_h} = w_{\min_{h+1}} + \dots + w_{\min_H}$.

Если $f + W'_{np_h} > f^*$, то введение j -го варианта не даёт решения лучшего, чем рекордное, переходим к шагу 8.

6. При $h < H$ анализируем следующий этап проекта, то есть $h := h+1$ и возвращаемся к шагу 2.

7. Величине f^* присваиваем новое значение $f^* := f$ и фиксируем множество $W_H := \{j_h\}_{h=1}^H$. Редуцируем f следующим образом $f := w'_{h-1}$.

8. При $j_h < M_h$ рассматриваем следующий вариант, т.е. $j_h := j_h + 1$ и переходим к шагу 3.

При $h > 1$ переходим на предыдущий этап, т.е. $h := h-1$ и изменяем значение $f := w_{h-1}$. Извлекаем из памяти j_h , и переходим к шагу 8.

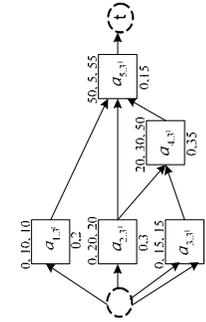
При $h=1$ и $W_H = \{\emptyset\}$ задача не имеет решения, в противном случае оптимальное решение получено. При этом $F=f^*$.

В качестве примера рассмотрена сетевая модель, которая отражает содержание проекта. Данный проект состоит из трех этапов. На каждом этапе задаются альтернативные варианты выполнения комплексов работ в виде фрагментов сети, представленные на рисунке. Для каждого узла рассматриваемой сети заданы длительности выполнения операций, а также величины затрат, которые необходимы для выполнения каждой из них.

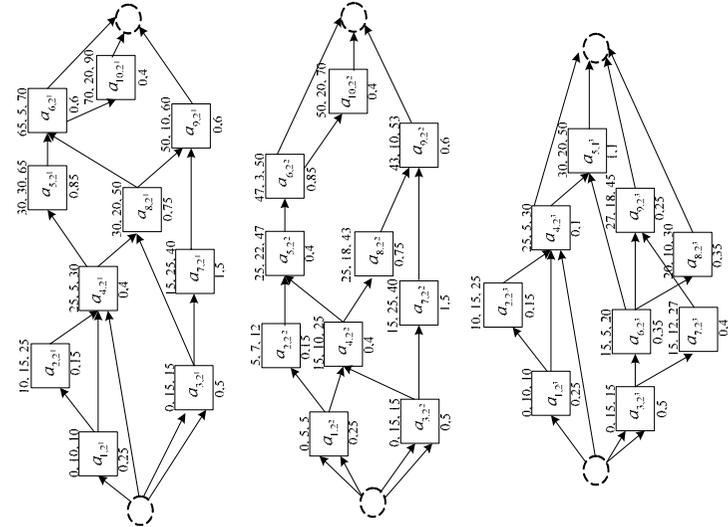
После проведенных расчетов по методу минимизации стоимости работ по проекту были получены следующие результаты.

Минимальная стоимость осуществления проекта составляет 5,2 млн. грн.

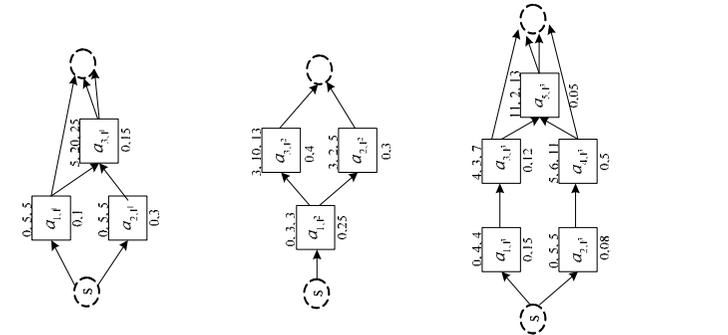
Этап 3



Этап 2



Этап 1



Время выполнения проекта 140 дней.

Для первого этапа выполнения проекта выбрана 1-я альтернатива, для второго этапа – третья альтернатива, для третьего этапа выбрана первая альтернатива выполнения работ.

В случае использовании метода полного перебора, без отсеечения заранее не перспективных последовательностей работ, количество вариантов в соответствии с комбинаторным правилом произведения составило бы $3*3*1=9$ вариантов – т.о. по 3 альтернативы на первом и втором этапах проекта. При решении задачи с помощью предложенного метода ветви выбирались следующим образом (по альтернативам):

1,1,1 – установлено значение рекорда $f^*=7,75$ млн. грн;

1,2,1 – значение рекорда уменьшилось до $f^*=7,55$ млн. грн;

1,3,1 – установлено новое значение рекорда $f^*=5,2$ млн. грн;

2,... – ветвь отсечена из-за не выполнения на первом этапе $S_n \geq 0$;

3,... – ветвь отсечена, так как на 1-м этапе выполнилось условие $f + T'_{np_n} \geq f^*$.

Вывод. В работе предложена математическая модель и метод минимизации стоимости работ по проекту при ограничениях на сроки выполнения работ проекта. Данная модель и метод позволяют решать задачи планирования в условиях, когда альтернативные варианты выполнения работ и их совокупностей заданы в виде фрагментов сети со сложными взаимосвязями с последующими и предыдущими работами.

Список литературы: 1. Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. Методы анализа сетей.– М.: Мир, 1984.– 496 с. 2. Давыдов Э.Г. Исследование операций.– М.: Высшая школа. 1990.– 383 с. 3. Воронаев В. И., Гельруд Я.Д. Циклические альтернативные сетевые модели и их использование при управлении проектами, available: <http://www.sovnet.ru/pages/public/casm.htm> (20.03.08 г). 4. Воронаев В.И., Лебедь Б.Я., Нудельман М.П., Орел Т.Я. Задачи и методы временного анализа календарных планов на обобщенных сетевых моделях. //Экономико-математические методы и АСУ в строительстве.– М.: НИИЭС, 1986.– 320 с. 5. Воронаев В.И. и др. Методические рекомендации по ресурсному анализу календарных планов на основе обобщенных сетевых моделей.– М.: ЦНИИЭУС, 1990.– 150 с. 6. Голенко Д.И. Статистические методы сетевого планирования и управления.– М.: Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука». 1968.– 400 с.

Поступила в редколлегию 08.01.09

УДК 681.3

О.В. ДОРОХОВ, канд. техн. наук, доцент ХНЕУ,
Л.П. ДОРОХОВА, канд. фарм. наук, доцент НФаУ

ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ ОБСЛУГОВУВАННЯ ПОКУПЦІВ НА АПТЕЧНОМУ ПІДПРИЄМСТВІ

Обґрунтовано можливість та необхідність застосування імітаційного моделювання для покращання якості обслуговування покупців-населення при придбанні лікарських засобів в роздрібних аптечних закладах. Опрацьовано постановку завдання з урахуванням специфіки торгівлі фармацевтичною продукцією. Визначено склад, розроблено та реалізовано відповідну комп'ютерну імітаційну модель. Наведено напрямки її подальшого розвитку та вдосконалення.

Обоснована возможность и необходимость применения имитационного моделирования для повышения качества обслуживания покупателей-населения при приобретении лекарственных средств в розничных аптечных учреждениях. Представлена постановка задачи с учетом специфики розничной торговли фармацевтической продукцией. Разработана соответствующая компьютерная имитационная модель, определены направления ее развития и совершенствования.

The opportunity and necessity of imitating modeling application for improvement of buyers-population service quality is proved at purchase of drugs and medical products in retail pharmacy establishments. Statement of the task in view of specificity of retail trade by pharmaceutical production is presented. The corresponding computer imitating model is developed, directions of its development is described.

Вступ. Покращання забезпечення громадян України лікарськими засобами в умовах складної соціально-економічної, екологічної, демографічної ситуації в державі є надзвичайно важливим та актуальним завданням.

Суттєвою складовою його вирішення є організація належного фармацевтичного обслуговування населення в аптечних закладах. Вони повинні надавати покупцям сервіс належного рівня не лише за асортиментом лікарських засобів, ціновими параметрами, але й якісний за часовими параметрами, оперативністю, зручністю обслуговування.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання вдосконалення обслуговування кінцевих покупців-населення в аптеках постійно займають важливе місце в наукових розробках і відповідних публікаціях [1 -4].

При цьому можна виділити ряд основних напрямків досліджень. Перш за все це маркетингові рішення – вибір цільового ринку, управління товарним асортиментом та набором послуг, вироблення цінової політики та засобів стимулювання збуту, визначення місця розташування підприємства.

Важливими є питання управління персоналом, зокрема підвищення його кваліфікації, компетенції, професійного рівня. Безпосередньо для покупців вагомими чинниками є культура їх обслуговування співробітниками аптеки – ввічливість, прихильне ставлення до відвідувачів персоналу аптеки, висока швидкість обслуговування, мінімізація його очікування і таке інше.

Загальна постановка проблеми. Обслуговування відвідувачів аптеки при придбанні ними лікарських засобів та товарів медичного призначення з точки зору можливостей та засобів моделювання доцільно розглядати як систему масового обслуговування з притаманними їй як загальними складовими та елементами, так і специфічними, котрі відбивають саме особливості фармацевтичного обслуговування населення.

Розробка та дослідження такої системи, зокрема, для аптечного закладу, дозволяє визначити та оптимізувати такі важливі загальні характеристики, як час обслуговування вимог в системі, наявність та параметри черг, завантаження обслуговуючих пристроїв тощо.

Формулювання цілей статті. Відповідно, ціллю дослідження визначено моделювання засобами теорії масового обслуговування процесу придбання покупцями лікарських засобів в аптечному закладі.

Передбачається розробка відповідної комп'ютерної моделі з подальшим аналізом отриманих результатів, виробленням на їх основі рекомендацій для практичного вдосконалення обслуговування покупців.

Виклад основного матеріалу. Можливості та напрямки імітаційного моделювання при обслуговуванні покупців в аптечному закладі. Як відомо, загальною методологічною ціллю математичного моделювання є створення певного середовища, яке дає змогу шляхом обчислювального експерименту отримати інформацію стосовно сторін та характеристик об'єкту моделювання без безпосередньої взаємодії з ним [5 - 7].

Зокрема, імітаційне моделювання, в тому числі моделювання черг в системах масового обслуговування (до яких можна віднести і обслуговування покупців лікарських засобів в аптечному закладі), дозволяє отримувати кількісні характеристики очікуваних управлінсько-комерційних рішень для їх подальшої оптимізації.

Ці рішення в процесі кожної окремої імітації можуть приймати різні конкретні значення внаслідок імовірнісної природи деяких (або всіх) вхідних параметрів моделі.

Тому імітаційне моделювання передбачає проведення багаторазових випробувань (розрахунків) моделі, що дозволяє порівняно швидко визначити статистично достовірні та математично обґрунтовані числові значення досліджуваних параметрів обслуговування.

Оскільки витрати на утримання персоналу та обслуговування покупців в аптечних закладах постійно зростають, а також внаслідок збільшення кількості аптечних закладів і посилення конкурентної боротьби за клієнтів між ними, загострюється необхідність оптимізації обслуговування покупців безпосередньо під час придбання ними лікарських засобів.

З іншого боку, в конкурентних ринкових умовах необхідна також раціональна, економічно обґрунтована та вигідна підприємству організація роботи провізорів з урахуванням норм трудового права, професійних та галузевих стандартів щодо умов праці, профспілкових вимог тощо.

Необхідні моделі, що дають змогу проаналізувати вплив на якість та економічні наслідки обслуговування клієнтури таких факторів, як імовірнісні характеристики появи покупців, терміни їх обслуговування провізорами, поведінка відвідувачів при наявності черги та часових затримок в обслуговуванні, наявності в аптеці додаткового консультативного лікарського сервісу (консультація лікаря).

Слід зазначити, що вибір, як інструментарію дослідження черг, саме імітаційного моделювання визначається наступними чинниками.

По-перше, аналогічні аналітичні моделі часто стають занадто складними для формалізації та аналізу, а іноді їх взагалі неможливо побудувати. Велика кількість імовірнісних факторів значно утруднює створення таких моделей.

По-друге, зазвичай аналітичні моделі надають середньостатистичні або стаціонарні, довготермінові рішення. На практиці, однак, часто важливими є саме нестаціонарна поведінка системи або її характеристики на короткому часовому інтервалі, що не дає можливості отримати та скористатися середньостатистичними значеннями.

По-третє, для імітаційного моделювання в теперішній час розроблена та є доступно достатня кількість спеціалізованого програмного забезпечення. При цьому рівень необхідної комп'ютерної та математичної підготовки користувачів таких систем значно знижено, що дозволяє розробляти, досліджувати та впроваджувати в практичне управління імітаційні моделі безпосередньо менеджерами, особами, що приймають рішення на фармацевтичних підприємствах.

Зважаючи на вищевикладене, в теперішній час імітаційні моделі часто розроблюються замість аналітичних, або паралельно з ними, оскільки це дозволяє оперативно та достовірно визначати параметри складних реальних систем, до яких відносяться система дистрибуції лікарських засобів та, як її підсистема, обслуговування покупців в аптечних закладах.

Розв'язання завдання моделювання обслуговування черги покупців в аптечному закладі. Розглянемо модель системи масового обслуговування покупців лікарських засобів в аптечному закладі в наступній постановці.

Покупці прибувають до аптеки з часовими інтервалами, які визначаються певним статистичним законом розподілу, встановленим за результатами спостережень безпосередньо в аптеці.

Обслуговування (продаж лікарських засобів) здійснює кілька провізорів (вікон). Кожний з провізорів витрачає на обслуговування окремого покупця певний час за статистичним законом розподілу, також визначеним на основі хронометричних спостережень. Вікна працюють повний робочий день (10 годин) без перерви та пауз в роботі.

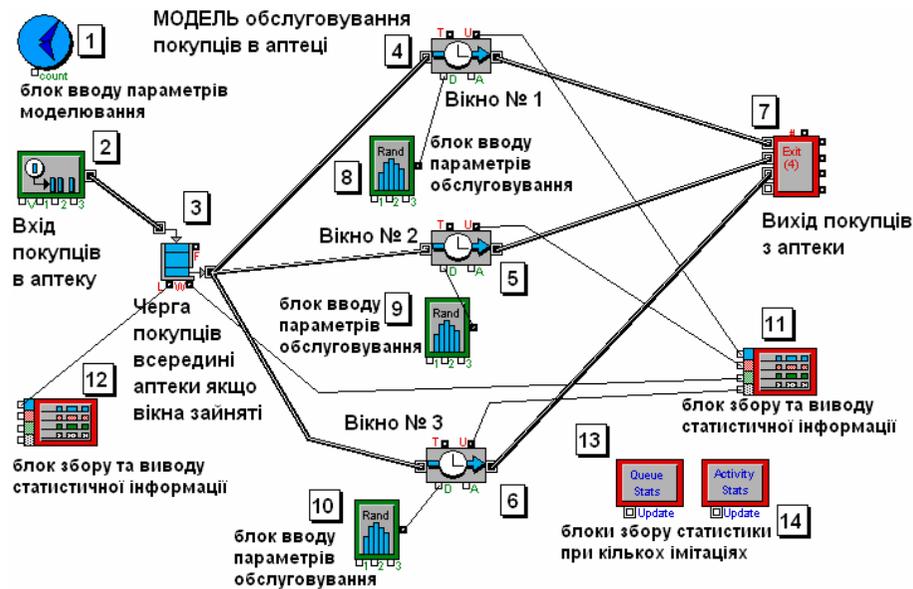
Якщо в момент прибуття до аптеки відвідувача всі вікна зайняті, то він опиняється в кінці спільної для всіх вікон черги, а потім просувається в ній до звільнення будь-якого вікна та початку обслуговування цього відвідувача.

В момент початку робочого дня відвідувачі в аптеці відсутні. В разі закінчення часу роботи аптеки, відвідувачі, що знаходяться в черзі, не обслуговуються. Обслуговування ж покупців, що знаходяться у вікон, проводиться повністю.

Призначенням моделі є імітація роботи аптеки, зокрема наявності та статистики черги за певний період часу.

В результаті збору статистичної інформації визначаються основні характеристики обслуговування покупців в аптеці: середній та максимальний час їх знаходження в черзі; середня та найбільша довжина черги; кількість покупців, які отримали обслуговування; завантаження провізорів при різній кількості вікон; частка покупців, що не отримали обслуговування тощо.

Графічний вигляд відповідної комп'ютерної моделі представлено на рисунку.



Імітаційна модель обслуговування черги покупців лікарських засобів в аптеці

Ця модель дозволяє користувачеві змінювати наступні вхідні параметри (в дужках наведені числові значення параметрів, з якими проведена імітація):

- одиниці виміру часу (хвилини);
- час роботи аптеки (10 годин);
- частоту появи покупців, її імовірнісний характер за різними законами розподілу (трикутний розподіл з найбільш очікуваною появою

чергового покупця через 3 хвилини);

- кількість вікон обслуговування (1 – 3 вікна);
- тривалість обслуговування одного покупця в певному вікні (трикутний розподіл, індивідуальний для різних вікон, з середніми значеннями часу обслуговування 4, 5, 6 хвилин для вікон №№ 1, 2, 3 відповідно).

Вхідні параметри законів розподілу появи покупців та термінів обслуговування одного клієнта в кожному вікні наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Характеристики законів розподілу появи покупців та їх обслуговування, хвилин

Тип розподілу - трикутний	Поява покупця	Час обслуговування		
		Вікно №1	Вікно №2	Вікно №3
Мінімальний час	1	2	3	5
Найбільш вірогідний час	2	10	6	8
Максимальний час	5	12	9	12

Імітація проводилася для випадків роботи лише 1-го, 2-х або 3-х вікон одночасно. Підсумки моделювання, зокрема характеристики черги – довжина та час очікування, завантаження вікон для 50 імітацій моделі з 95-відсотковим довірчим інтервалом представлено в табл. 2. Результати окремих імітацій можуть бути отримані у графічному вигляді через відповідні блоки моделі.

Таблиця 2

Результати моделювання з 95-відсотковою достовірністю (час - 600 хвилин)

Параметри обслуговування	Працює лише вікно №1	Працюють вікна №1 та №2	Працюють всі три вікна
Середня довжина черги	76	24	0
Максимальна довжина черги	151	49	4
Середній час чекання в черзі	199	64	1,4
Максимальний час чекання	400	131	7,5
Всього обслуговували покупців	71	185	227
Обслуговано в вікні №1	71	81	69
Завантаження вікна №1	100%	100%	94%
Обслуговано в вікні №2	-	104	94
Завантаження вікна №2	-	99%	89%
Обслуговано в вікні №3	-	-	64
Завантаження вікна №3	-	-	88%

На основі аналізу результатів моделювання можна зробити узагальнений висновок, що в даному разі продаж лікарських засобів у трьох вікнах є

найбільш оптимальним як з точки зору якості обслуговування покупців, так і за завантаженістю провізорів. При такій кількості вікон сумарна черга до всіх них у середньому відсутня, та не перевищує 4 покупця. Час чекання у черзі складає у середньому півтори хвилини, та не перевищує 7 хвилин. Таке обслуговування є цілком прийнятним для покупців. З іншого боку, провізори завантажені роботою 90-95% робочого часу, що є надзвичайно високим, практично максимальним показником ефективності їх використання. Натомість, зменшення кількості вікон призведе до значних черг та часу очікування покупців, а збільшення – до простою персоналу аптеки.

Подальший розвиток моделі. Представлену модель передбачається розвинути для врахування ряду додаткових чинників. Так, при наявності черги або великого часу очікування покупець може залишити аптеку. Також можливим є повернення покупця до черги після першого обслуговування для додаткового придбання ліків. Особливим випадком є наявність в аптеці консультативних послуг лікаря, якими користується частка покупців. Також можливе визначення оптимального числа вікон продажу ліків шляхом порівняння вартості функціонування вікна та потенційних втрат внаслідок залишення покупцями аптеки при великій черзі та часі очікування. Ці моделі розроблені та будуть представлені в подальших публікаціях.

Висновки. Таким чином, опрацьовано та представлено імітаційну модель обслуговування покупців ліків в аптечному закладі. Комп'ютерний варіант моделі дає змогу на основі статистичних даних та обчислювального експерименту отримати важливі характеристики обслуговування – наявність черг, час очікування, завантаженість провізорів тощо.

В результаті використання моделі можна суттєво покращити якість обслуговування покупців та оптимізувати організацію роботи самого аптечного закладу. Наведені напрямки подальшого розвитку моделі дозволяють представити й формалізувати процес обслуговування відвідувачів аптечного закладу, визначити загальні напрямки вдосконалення роботи аптеки з урахуванням інтересів як покупців, так і самого підприємства, виконати обґрунтовані економіко-математичні розрахунки стосовно різних можливих варіантів організації обслуговування, роботи персоналу тощо.

Список літератури: 1. Мнушко З.М., Софронова І.В. Аналіз напрямків досліджень з економіки, менеджменту та маркетингу в фармації // Вісник фармації. – 2004. - №4. – С. 53-58. 2. Громовик Б.П., Мокрянін С.М. Проблемні питання логістичного обслуговування споживачів лікарських засобів // Фармац. журн. – 2007. - №5. – С. 14-18. 3. Пестун І.В., Мнушко З.М., Преснякова В.В. Маркетингове інформаційне забезпечення процесу прийняття управлінських рішень в фармації // Фармац. журн. – 2007. - №1. – С. 9-14. 4. Толочко В.М. Управління фармацією. – Х.: Видавництва НФаУ, 2004. – 386 с. 5. Дорохова Л.П. Модель в управлінні // Фармацевтична енциклопедія. – К.: Моріон, 2005. – С. 519-520 6. Довгань С.М. Математичне моделювання в маркетингу. – Дніпропетровськ, 2002. – 194 с. 7. Шеннон Р.Ю. Имитационное моделирование систем – наука и искусство. – М., 1978. – 598 с.

Надійшла до редколегії 18.12.08

А. В. ГОРЕЛЫЙ, канд. техн. наук, профессор каф. АСУ НТУ «ХПИ»,
Н. А. КОВАЛЕНКО, студентка НТУ «ХПИ»

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ УЧАЩИХСЯ ОБЩЕОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ Г. ХАРЬКОВА

В статті пропонуються методи прогнозування змінювання чисельності учнів загальноосвітніх учбових закладів м. Харкова. Зроблені висновки про найбільш ефективний метод, який можливо застосувати для такого прогнозування та обрано найбільш придатну модель для прогнозування змінювання чисельності учнів.

В статье предлагаются методы прогнозирования изменения численности учащихся общеобразовательных учебных заведений г. Харькова. Сделаны выводы о наиболее эффективном методе, который может быть применен для такого прогнозирования и выбрана наиболее подходящая для прогнозирования изменения численности учащихся модель.

In the article methods of forecasting of change of number of pupils of general educational institutions of Kharkov are offered. Conclusions are drawn on the most effective method which can be applied to such forecasting and the most suitable model for forecasting of change of number of pupils is chosen.

Введение. С начала 90-х годов прошлого столетия по Украине в целом наблюдалось значительное снижение рождаемости, что было вызвано, в основном, низким уровнем жизни населения. В связи с этим каждый год уменьшалось количество первоклассников, и, соответственно, уменьшалось количество общеобразовательных учебных заведений. Однако за последние несколько лет наметилась тенденция повышения рождаемости. Кроме того, существующие школы строились из расчета одиннадцатилетней системы обучения, которая на самом деле была десятилетней, так как практически во всех школах отсутствовал четвертый класс. Но с 2001/2002 учебного года все украинские школы перешли на двенадцатилетнее обучение.

На сегодняшний день не наблюдается ни переизбытка, ни недостатка в общеобразовательных учебных заведениях, но есть основания предполагать, что уже через несколько лет ситуация может измениться, и, соответственно, может потребоваться большее или меньшее число школ по сравнению с числом функционирующих сегодня. Пока нельзя точно говорить о том, что рождаемость будет увеличиваться или уменьшаться, появившаяся тенденция может быть просто выбросом.

Постановка задачи. Перед автором стояла задача изучить существующие методы перспективного исчисления населения и с их помощью выбрать модель, которая наилучшим образом подходит для прогнозирования изменения численности учащихся общеобразовательных учебных заведений г. Харькова. Выбранную модель необходимо уточнить с

использованием априорной информации о самой модели с целью повышения точности прогноза.

Методы демографического прогнозирования. В настоящее время для прогнозирования общего уровня рождаемости применяются различные методы, начиная от простой экстраполяции ее тенденций в будущее, до попыток разработки и применения математических моделей, учитывающих взаимосвязь уровня рождаемости и социально-экономических факторов, ее определяющих. Самым простым методом является экстраполяция тенденций суммарного коэффициента рождаемости на будущее с помощью той или иной математической функции. Определив тренд суммарного коэффициента рождаемости, его продлевают в будущее. Метод экстраполяции обычно применяется для прогнозирования рождаемости в странах с высоким ее уровнем. Другим методом прогнозирования повозрастных коэффициентов рождаемости является референтный метод. Сравнение прогнозируемого населения производится не столько с уровнями повозрастных или суммарных коэффициентов рождаемости «продвинутых» населений, сколько с распространенностью и особенностями практики применения средств контрацепции и искусственного прерывания беременности. Кроме того, достаточно широкое распространение имеют специализированные демографические модели, разрабатывавшиеся с учетом всех особенностей прогнозирования изменения социального и половозрастного состава населения.

Выбор метода прогнозирования. Вначале для прогнозирования рождаемости был выбран один из методов прогнозирования, основанных на применении математических функций, а именно аппроксимация изменения рождаемости с помощью базисных функций с применением метода наименьших квадратов. Математические методы применяются при прогнозировании численности населения небольших территорий (например, регионов той или иной страны). Проведенное исследование показало, что наилучшие результаты (дающие наименьшие отклонения теоретических значений от эмпирических) позволяет получить аппроксимация с использованием в качестве базисных функций степеней x , т.е. $f_i(x) = x^i$. Достаточно популярное использование в качестве базиса полиномов Чебышева в данной работе не нашло применения, так как эти полиномы дают хорошие результаты только при интерполяции, а получаемые при экстраполяции результаты имеют очень большую погрешность. При прогнозировании с помощью взвешенного метода наименьших квадратов осуществлялась проверка на гетероскедастичность с помощью теста ранговой корреляции Спирмана.

Проведенные исследования прогнозируемого изменения рождаемости показали достаточно высокую точность результатов, получаемых с помощью данных методов. Однако при таком подходе применяется узкая трактовка

воспроизводства населения как количественного процесса, изменения только возрастных структур населения, без учета миграции. В частности, не учитывается возможная смена места жительства детьми, рожденными в районе, а также то, что не все родившиеся в районе дети пойдут учиться только в школы этого района. Таким образом, возникла задача более точного прогнозирования изменения численности учащихся школ района с точки зрения широкой трактовки процесса воспроизводства населения, при которой учитывается миграция.

Рассмотрим одну из модификаций классической модели социально-возрастного состава населения. Предположим, что население дифференцировано только по уровню образования. Обозначим общее число уровней образования G , они пронумерованы в порядке возрастания, $j = \overline{1, G}$. Вектор образовательного состава населения в момент времени t состоит из G компонент:

$$x(t) = [x^1(t), \dots, x^j(t), \dots, x^G(t)]^T.$$

Каждая j -я компонента его представляет собой численность населения с j -м уровнем образования в момент t .

Модель динамики образовательного состава населения имеет вид:

$$\bar{x}(t+1) = [F(t)A(t) + B(t)]\bar{x}(t) + \bar{y}(t+1).$$

Здесь $\bar{x}(t+1)$ - вектор образовательного состава населения на прогнозируемый момент времени $t+1$, $A(t)$ - матрица параметров естественного движения населения на момент t (ее элементы - вероятности перехода индивидуума из одной возрастной группы в другую, иными словами - вероятности дожить до определенного возраста), $F(t)$ - матрица параметров социального движения населения на момент t , $B(t)$ - матрица параметров рождаемости на момент t , элементы которой представляют собой вероятность рождения ребенка у женщин k -й возрастной группы.

Подробно вид матриц $A(t)$, $F(t)$, $B(t)$ в данной статье не рассматривается.

Уточнение выбранной модели. Очевидно, что ни один из методов прогнозирования не позволяет получить полностью точные и достоверные результаты. Это обусловлено, прежде всего, ошибками, которые могли иметь место при формировании прогнозной модели, определении прогнозного фона и т.д. При этом речь идет о систематических ошибках. Такие ошибки обычно накапливаются, суммируются, что в результате делает прогноз заведомо ошибочным и неприемлемым при разработке управляющих решений. Таким образом, проблема точности прогноза стоит достаточно остро. Решить эту проблему можно несколькими способами. Во-первых, можно увеличить

объем выборки, что позволит точнее оценить параметры модели, однако это не всегда возможно. Во-вторых, можно уточнить саму модель путем добавления в нее корректирующего компонента. Именно второй подход был выбран автором для уточнения модели динамики образовательного состава населения. Уточнение модели осуществлялось методом динамической фильтрации, при котором адаптация модели осуществляется рекуррентно при получении каждой новой точки ряда. В качестве метода адаптивной фильтрации был выбран фильтр Калмана, предназначенный для рекурсивного дооценивания вектора состояния априори известной динамической системы. При данном методе для уточнения прогноза используется априорная информация о самой модели. Метод динамической фильтрации Калмана позволяет «обучать» и уточнять модель на каждом новом шаге прогнозирования, тем самым повышая точность прогноза.

Таким образом, уточненная с помощью фильтра Калмана модель имеет вид:

$$\hat{\bar{x}}(t+1) = \bar{x}(t+1) + K_{t+1}\tilde{y}_{t+1} = [F(t)A(t) + B(t)]\bar{x}(t) + K_{t+1}\tilde{y}_{t+1}.$$

Здесь K_{t+1} - оптимальный по Калману коэффициент усиления, \tilde{y}_{t+1} - математическая невязка прогнозного значения вектора состояний относительно измерений. После получения данных о реальном значении прогнозируемого вектора состояний модель прогноза уточняется путем расчета невязки прогнозного и действительного значений. Такой подход позволяет модели прогнозирования «обучаться» на каждом новом шаге прогноза, что позволяет повысить точность и достоверность прогноза численности учащихся общеобразовательных учебных заведений.

Заключение. Выбранная и уточненная методом динамической фильтрации модель позволит определить перспективы изменения численности учащихся, а также на основании полученных результатов необходимое в соответствии с предполагаемыми изменениями число учебных заведений, учителей, учебной литературы и т.д., что позволит планировать затраты на сферу общего среднего образования, которые должны быть заложены в районный и областной бюджет.

Список литературы: 1. Медков В.М. Демография: Учебное пособие. Серия «Учебники и учебные пособия» - Ростов-на-Дону: Феникс, 2002. 2. Шелестов Д.К. Демография: история и современность - М., 1993. 3. Вишневский А.Г. Воспроизводство населения и общество: История, современность, взгляд в будущее - М., 1982. 4. Бахметова Г.Ш. Современные методы демографического прогнозирования - М., 1999. 5. Тихомиров Н.П. Демография. Методы анализа и прогнозирования - М.: - Издательство «Экзамен», 2005. 6. Синицын И.Н. Фильтры Калмана и Пугачева - М.: - Издательство «Логос», 2006. 7. Волков И.К., Зуев С.М., Цветкова Г.М. Случайные процессы - М., 1999.

Поступила в редколлегию 08.12.08

О.В. СЕРАЯ, канд. техн. наук, доцент НТУ «ХПИ»

ДВУХКРИТЕРИАЛЬНАЯ ТРАНСПОРТНАЯ ЗАДАЧА

Запропоновано метод отримання Парето-оптимальної безлічі розв'язань транспортної задачі по критеріях «сумарна вартість – максимальний час перевезень», яка забезпечує вибір компромісного розв'язання.

Предложен метод получения Парето-оптимального множества решений транспортной задачи по критериям «суммарная стоимость – максимальное время перевозок», которое обеспечивает выбор компромиссного решения.

The method of receipt Pareto - optimum great number of decisions of a transport task which provides the choice of compromise decision on criteria a «total cost - maximal time of transportations» is offered.

Введение. В практике планирования и организации транспортировок грузов традиционно используются две разные математические модели: транспортная задача по критерию стоимости (при этом минимизируется суммарная стоимость перевозок) и транспортная задача по критерию времени (при этом минимизируется максимальная из продолжительностей перевозок). Эти задачи альтернативны в том смысле, что их оптимальные планы, как правило не совпадают (кратчайший по времени маршрут не обязательно самый дешевый). Технологии решения этих задач хорошо отработаны [1-3] и конструктивно учитывают специфику и особенности постановок каждой из них. По этой причине они принципиально различны и их объединение в единую вычислительную процедуру очень проблематично. Вместе с тем при решении практических задач транспортной логистики возникает потребность в решении, например, таких задач: а) найти план перевозок, минимизирующий суммарную стоимость перевозок при условии, что наибольшая продолжительность из них не превосходит заданную; б) найти план транспортировок, минимизирующий максимальную из продолжительностей перевозок, при условии, что их суммарная стоимость не превосходит заданную. Разработка метода решения таких задач представляет теоретический и практический интерес.

Цель статьи - разработка технологии отыскания компромиссного решения транспортных задач линейного программирования по критериям – суммарная стоимость и максимальная продолжительность транспортировки.

Постановка задачи. Пусть имеется m центров – поставщиков груза и n центров его потребления. При этом заданы:

- a_i - объем груза, который нужно перевезти от i -го поставщика;
- b_j - объем груза, который нужно привезти к j -му потребителю;

c_{ij} - стоимость перевозки единицы груза от i -го поставщика к j -му потребителю;

t_{ij} - продолжительность соответствующей транспортировки.

Введем набор $X = (x_{ij})$, где

x_{ij} - объем груза, планируемого для перевозки от i -го поставщика к j -му потребителю, $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$.

Сформулируем критерии эффективности плана транспортировок X :

$$L(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}, \quad (1)$$

$$T(X) = \max_{i,j} \{t_{ij} \cdot \delta(x_{ij})\}, \quad (2)$$

$$\delta(x_{ij}) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_{ij} = 0, \\ 1, & \text{если } x_{ij} > 0. \end{cases} \quad (3)$$

Искомый план транспортировок должен удовлетворять ограничениям:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (5)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (6)$$

При этом предполагается, что выполняется условие баланса

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j,$$

и, кроме того, продолжительность транспортировки от i -го поставщика к j -му потребителю не зависит от объема перевозки x_{ij} , $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$.

Поставим задачу разработки метода отыскания плана транспортировок $X = (x_{ij})$, удовлетворяющего ограничениям (4) – (6) и компромиссно минимизирующего критерии (1), (2).

Основные результаты. Рассмотрим следующую итерационную процедуру решения задачи.

Итерация 1. С использованием стандартных методов решается транспортная задача по критерию стоимости:

найти план $X = (x_{ij})$, минимизирующий (1), удовлетворяющий ограничениям (4) – (6) и, кроме того, дополнительному ограничению

$$0 \leq x_{ij} \leq h_{ij}^{(1)}, \quad (7)$$

$$h_{ij}^{(1)} = \begin{cases} 0, & t_{ij} > t_{\max}^{(1)} = \max_{i,j} \{t_{ij}\} \\ M, & t_{ij} \leq t_{\max}^{(1)}, \end{cases} \quad (8)$$

$$M = \max \left\{ \max_i a_i, \max_j b_j \right\}. \quad (9)$$

Условие (7) фактически не накладывает никаких ограничений на искомый план, так как, в соответствии с (8) $h_{ij}^{(1)} \equiv M$, причем M достаточно велико.

Пусть $X^{(1)} = (x_{ij}^{(1)})$ - решение задачи (1), (4) – (9). Рассчитаем

$$t_{\max}^{(2)} = \max_{(i,j) \in N^{(1)}} \{t_{ij}\}, \quad N^{(1)} = \{(i, j) : x_{ij}^{(1)} > 0\}.$$

Понятно, что значение $t_{\max}^{(2)}$ определяется самой продолжительной из ненулевых транспортировок, соответствующих плану $X^{(1)}$. Зададим теперь

$$h_{ij}^{(2)} = \begin{cases} 0, & t_{ij} > t_{\max}^{(2)}, \\ M, & t_{ij} \leq t_{\max}^{(2)}, \end{cases} \quad (10)$$

и введем ограничение

$$0 \leq x_{ij} \leq h_{ij}^{(2)}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (11)$$

Первая итерация завершена.

Итерация 2. Вновь решается транспортная задача: найти план $X = (x_{ij})$, минимизирующий (1) и удовлетворяющий ограничениям (4) - (6), (11). Понятно, что ограничение (11), заменившее виртуальное ограничение (8), запрещает использовать в новом плане транспортировок те из них, продолжительность реализации которых превосходит $t_{\max}^{(2)}$. В результате решения задачи получаем новый план $X^{(2)} = (x_{ij}^{(2)})$, с использованием которого находим

$$t_{\max}^{(3)} = \max_{(i,j) \in N^{(2)}} \{t_{ij}\}, \quad N^{(2)} = \{(i, j) : x_{ij}^{(2)} > 0\} \cup N^{(1)},$$

$$h_{ij}^{(3)} = \begin{cases} 0, & t_{ij} > t_{max}^{(3)}, \\ M, & t_{ij} \leq t_{max}^{(3)}, \end{cases}$$

обеспечивающих формирования нового ограничения

$$0 \leq x_{ij} \leq h_{ij}^{(3)}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Вторая итерация завершена.

Последующие итерации во всем повторяют уже описанные, за исключением правила коррекции соотношений, используемых при формировании дополнительного ограничения. После проведения k итераций, перед очередной $(k+1)$ -й итерацией вычисляются

$$t_{max}^{(k+1)} = \max_{(i,j) \in N^{(k)}} \{t_{ij}\}, \quad N^{(k)} = \{(i,j) : x_{ij}^{(k)} > 0\} \cup N^{(k-1)}, \quad (12)$$

$$h_{ij}^{(k+1)} = \begin{cases} 0, & t_{ij} > t_{max}^{(k+1)}, \\ M, & t_{ij} \leq t_{max}^{(k+1)}, \end{cases} \quad (13)$$

и задается новое ограничение

$$0 \leq x_{ij} \leq h_{ij}^{(k+1)}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (14)$$

Процедура продолжается до тех пор, пока после проведения очередной, например, q -й, итерации число разрешенных элементов плана не станет меньше минимально возможного, равного $m+n-1$.

В результате реализации этой процедуры получим совокупность пар:

$$(L(X^{(1)}), t_{max}^{(1)}), (L(X^{(2)}), t_{max}^{(2)}), \dots, (L(X^{(q)}), t_{max}^{(q)}). \quad (15)$$

Легко показать, что эта совокупность точек образует Парето-оптимальное множество, то есть для произвольной точки $(L(X^{(k)}), t_{max}^{(k)})$ из этого множества не существует какой-либо другой минорирующей точки $(L(X^{(l)}), t_{max}^{(l)})$ такой, что одновременно выполняются неравенства

$$\begin{aligned} L(X^{(l)}) &< L(X^{(k)}), \\ t_{max}^{(l)} &< t_{max}^{(k)}. \end{aligned} \quad (16)$$

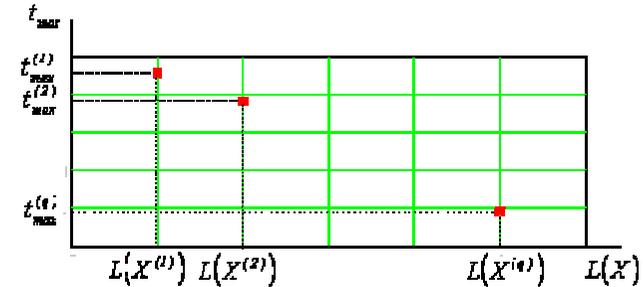
Действительно, описанная выше процедура формирования точек из совокупности (15) такова, что для всех $l < k$

$$L(X^{(l)}) \leq L(X^{(k)}), \quad t_{max}^{(l)} \geq t_{max}^{(k)}. \quad (17)$$

Напротив, для всех $l > k$ имеет место

$$L(X^{(l)}) \geq L(X^{(k)}), \quad t_{max}^{(l)} \leq t_{max}^{(k)}. \quad (18)$$

Таким образом, обязательное выполнение неравенств (17) и (18) для всех $l \neq k$ исключает возможность реализации (16). Графическое отображение Парето-оптимального множества (15) представлено на рисунке.



Парето-оптимальное множество решений задачи.

Понятно, что более полное Парето-оптимальное множество будет получено, если на каждой итерации из матрицы возможных назначений исключать элемент, для которого продолжительность перевозки является максимальной. При этом решение транспортной задачи по критерию стоимости приведет к плану, на котором суммарная стоимость перевозок будет не лучше, а максимальная продолжительность перевозок – не хуже, чем на предыдущей итерации.

Выводы. Таким образом, предложен метод решения двухкритериальной транспортной задачи. Описанная процедура позволяет отыскивать любое из альтернативных решений: а) план перевозок, обеспечивающий минимальную суммарную стоимость перевозок при условии, что продолжительность максимальной из них не превосходит заданную; б) план, минимизирующий максимальную из продолжительностей перевозок при условии, что суммарная их стоимость не превосходит заданную.

Список литературы: 1. Юдин Д.Б. Задачи линейного программирования транспортного типа / Д.Б. Юдин, Е.Г. Гольштейн. – М.: Наука, 1969. – 384с. 2. Вагнер Г. Основы исследования операций / Г. Вагнер. Т.1.: пер. с англ. – М.: МИР, 1972. – 335с. 3. Раскин Л.Г. Многоиндексные задачи линейного программирования / Л.Г. Раскин., О.И. Кириченко. – М.: Радио и связь, 1982. – 240с.

Поступила в редколлегию 19.01.09

М. В. ТАЩИЛИН, ассистент, ЛНАУ (г. Луганск),
Т.И. КАТКОВА, канд. пед. наук, БУМБ (г. Бердянск)

НЕЧЕТКАЯ ЭКСПЕРТНАЯ СИСТЕМА С РЕГРЕССИОННЫМ МЕХАНИЗМОМ ЛОГИЧЕСКОГО ВЫВОДА

Розглянуто задачу опису зв'язку «багатовимірний вхід - вихід». Проведено аналіз традиційних методів розв'язання цієї задачі. Запропоновано методику побудови лінійного по параметрах регресійного механізму логічного виводу для експертної системи з нечіткими вхідними даними.

Рассмотрена задача описания связи «многомерный вход - выход». Проведен анализ традиционных методов решения этой задачи. Предложена методика построения линейного по параметрам регрессионного механизма логического вывода для экспертной системы с нечеткими входными данными.

The task of description of «multidimensional entrance is an output» - connection is considered. The analysis of traditional decision methods of this task is conducted. The construction method of linear on parameters regressive mechanism of inferencing is offered for a consulting model with unclear datains.

Введение. Сложность проблем, которые возникают при решении конкретных задач описания реального мира естественным языком, вызвала необходимость в новых формальных методах и концепциях, которые включают теорию нечетких множеств. При этом одной из наиболее трудных является задача описания многомерных зависимостей вида

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_n). \quad (1)$$

В настоящее время для формализации причинно-следственных связей между переменными «вход-выход», широко используются базы нечетких знаний, которые воплощают в себе описание этих связей на естественном языке с применением теории нечетких множеств и лингвистических переменных [1].

Нечеткие базы знаний реализуется в виде совокупности нечетких правил "Если - тогда", определяющие взаимосвязь между входами и выходами исследуемого объекта. Обобщенный формат нечетких правил такой:

Если <посылка правила>, тогда <вывод правила>.

При описании многомерных зависимостей "входы-выходы" используют нечеткие логические операции И и ИЛИ. Удобно правила формулировать так, чтобы внутри каждого правила переменные объединялись логической операцией И, а правила в базе знаний связывались операцией ИЛИ. В этом случае нечеткую базу знаний, которая связывает входы $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ с выходом y , можно представить в следующем виде:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left[\bigcap_{i=1}^n (x_i = a_i^{jp}) \right] \longrightarrow y = d_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где a_i^{jp} - лингвистическая оценка входной переменной x_i в p -м субправиле j -го правила; k_j - количество правил, определяющих значение выходной переменной $y = d_j$; d_j - лингвистическая оценка выходной переменной y , полученная в соответствии с j -м правилом, $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, $p = \overline{1, k_j}$.

Таким образом, искомое соотношение (1), устанавливающее связь между входными параметрами x_i и выходной переменной y , формализовано в виде системы нечетких логических высказываний (2).

Лингвистические оценки a_i^{jp} переменных x_1, \dots, x_n , которые входят в логические высказывания (2), будем рассматривать как нечеткие множества, определенные на универсальных множествах $U_i = [x_i, \overline{x_i}]$, $i = \overline{1, n}$.

Введем следующие обозначения:

$\mu^{a_i^{jp}}(x_i)$ - функция принадлежности параметра $x_i \in [x_i, \overline{x_i}]$ к нечеткому терму a_i^{jp} , $i = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, m}$, $p = \overline{1, k_j}$;

$\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n)$ - функция принадлежности вектора входных переменных $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ значению выходной переменной $y = d_j$, $j = \overline{1, m}$.

Тогда связь между функциями принадлежности для выходных переменных и функциями принадлежности входных переменных описывается системой логических уравнений

$$\mu^{d_j}(x_1, x_2, \dots, x_n) = \bigvee_{p=1}^{k_j} \left[\bigwedge_{i=1}^n \mu^{a_i^{jp}}(x_i) \right], \quad j = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Постановка задачи. Описанная в форме (3) процедура получения нечеткого логического вывода, по существу, представляет собой реализацию нечеткой продукционной экспертной системы со всеми недостатками, присущими таким системам:

- отсутствует возможность учета различий в важности контролируемых входных переменных x_1, x_2, \dots, x_n ;
- для каждого из продукционных правил (2) отсутствует возможность учета различий в важности субправил;
- жесткая схема логического вывода, задаваемая (3), может привести к неконтролируемым ошибкам в диагнозе (для этого достаточно, чтобы минимальное значение функции

принадлежности только для одного из правил субпродукции оказалось больше остальных);

- множество правил базы знаний много меньше числа возможных вариантов значений входных переменных, поэтому на практике могут возникать варианты, не предусмотренные в базе знаний;
- в системах такого типа, в особенности, если число входных переменных велико, практически невозможно учесть синергетический эффект, который возможен при совместном появлении некоторых конкретных значений отдельных переменных.

Цель статьи - разработка механизма логического вывода, который в большей мере, нежели продукционный, соответствовал бы модели (1). Рассмотрим возможность использования для решения этой задачи линейного по параметрам, но нелинейного по факторам уравнения регрессии. Для простоты будем считать, что парные взаимодействия переменных в достаточной мере определяют появление синергетического эффекта.

Основные результаты. Пусть проведена серия, содержащая N замеров значений контролируемых переменных, в результате которых получена матрица

$$H = \begin{pmatrix} x_{11} & x_{12} & \dots & x_{1i} & \dots & x_{1n} \\ x_{21} & x_{22} & \dots & x_{2i} & \dots & x_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{l1} & x_{l2} & \dots & x_{li} & \dots & x_{ln} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ x_{N1} & x_{N2} & \dots & x_{Ni} & \dots & x_{Nn} \end{pmatrix}.$$

Здесь вектор $X_l = (x_{l1}, x_{l2}, \dots, x_{li}, \dots, x_{ln})$ соответствует результатам проведения l -го эксперимента. Полученные данные используем следующим образом. Каждому значению x_{li} поставим в соответствие m чисел

$$(z_i^{1l}, z_i^{2l}, \dots, z_i^{jl}, \dots, z_i^{ml}), \quad i = \overline{1, n},$$

где z_i^{jl} - число, показывающее, насколько значение x_{li} переменной x_i в l -том эксперименте благоприятно для j -го варианта действий, $z_i^{jl} \in [0, 1]$.

Одновременно вектору X_l поставим в соответствие m чисел $(d_1^l, d_2^l, \dots, d_j^l, \dots, d_m^l)$, $l = \overline{1, N}$, где d_j^l - степень целесообразности

использования j -го варианта действий, если набор контролируемых параметров образует вектор X_l , $d_j^l \in [0, 1]$.

С использованием этих наборов введем матрицы и векторы

$$H_j = \begin{pmatrix} z_1^{j1} & z_2^{j1} & \dots & z_i^{j1} & \dots & z_n^{j1} & z_1^{j1} z_2^{j1} & z_1^{j1} z_3^{j1} & \dots & z_i^{j1} z_{i_2}^{j1} & \dots & z_{n-1}^{j1} z_n^{j1} \\ \dots & \dots \\ z_1^{jl} & z_2^{jl} & \dots & z_i^{jl} & \dots & z_n^{jl} & z_1^{jl} z_2^{jl} & z_1^{jl} z_3^{jl} & \dots & z_i^{jl} z_{i_2}^{jl} & \dots & z_{n-1}^{jl} z_n^{jl} \\ \dots & \dots \\ z_1^{jN} & z_2^{jN} & \dots & z_i^{jN} & \dots & z_n^{jN} & z_1^{jN} z_2^{jN} & z_1^{jN} z_3^{jN} & \dots & z_i^{jN} z_{i_2}^{jN} & \dots & z_{n-1}^{jN} z_n^{jN} \end{pmatrix},$$

$$D_j^T = (d_j^1 \quad d_j^2 \quad \dots \quad d_j^l \quad \dots \quad d_j^N),$$

$$A_j = (a_1^j \quad a_2^j \quad \dots \quad a_i^j \quad \dots \quad a_n^j \quad a_{12}^j \quad a_{13}^j \quad \dots \quad a_{i_{i_2}}^j \quad \dots \quad a_{n-1n}^j), \quad j = 1, 2, \dots, m;$$

а также модель

$$y_j^l = a_1^j \cdot z_1^{jl} + \dots + a_i^j \cdot z_i^{jl} + \dots + a_n^j \cdot z_n^{jl} + a_{12}^j z_1^{jl} z_2^{jl} + \dots + a_{i_{i_2}}^j z_i^{jl} z_{i_2}^{jl} + \dots + a_{n-1n}^j z_{n-1}^{jl} z_n^{jl} = \sum_{i=1}^n a_i^j z_i^{jl} + \sum_{i_1=1}^n \sum_{i_2 \neq i_1}^n a_{i_1 i_2}^j z_{i_1}^{jl} z_{i_2}^{jl}, \quad (4)$$

задающую степень целесообразности использования j -го варианта действий в l -й ситуации, $j = 1, 2, \dots, m$.

Неизвестные коэффициенты уравнения регрессии (4) определим методом наименьших квадратов, путем независимой минимизации функционалов

$$I_j = (Y_j - D_j)^T (Y_j - D_j) = (H_j A_j - D_j)^T (H_j A_j - D_j), \quad j = 1, 2, \dots, m.$$

В результате их минимизации по векторам $A_1, \dots, A_j, \dots, A_m$ соответственно, получим m векторов-оценок параметров уравнений (4)

$$\hat{A}_j = (A_j^T A_j)^{-1} A_j^T D_j, \quad j = \overline{1, m}, \quad (5)$$

Этот результат позволяет рассчитать значения степени целесообразности использования каждого из вариантов действий для любого набора значений контролируемых переменных $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$. Для этого набору X поставим в соответствие m векторов $z_j = (z_1^j, z_2^j, \dots, z_n^j)$, $j = \overline{1, m}$. Подстановка элементов этих векторов и элементов соответствующих векторов \hat{A}_j в уравнение (4) определяют искомым набор значений

$$\hat{y}_j = \sum_{i=1}^n \hat{a}_i^j z_i^j + \sum_{i=1}^n \sum_{i_2 \neq i} \hat{a}_{i i_2}^j z_i^j z_{i_2}^j, \quad j = \overline{1, m}. \quad (6)$$

Понятно, что успешная реализация предложенной технологии может быть обеспечена, если удастся, во-первых, решить задачу оценок степени целесообразности использования вариантов решений для любого набора контролируемых параметров и, во-вторых, построить эффективную процедуру расчета компонентов векторов $z_j = (z_1^j, z_2^j, \dots, z_n^j)$ для каждого набора значений контролируемых переменных $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$. Для решения первой из поставленных задач может быть использована описанная выше традиционная методика составления и решения системы нечетких логических уравнений. Наиболее естественный подход к решению второй задачи состоит в следующем. Для каждой из переменных x_i формируется набор функций принадлежности $\mu_j(x_i)$, $j = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, n}$, где $\mu_j(x_i)$ - функция принадлежности контролируемой переменной x_i нечеткому множеству M_{ij} значений, благоприятных для реализации j -го варианта решений. Ввод совокупности таких функций принадлежности позволяет интерпретировать измеренное значение каждой контролируемой переменной x_i как нечеткое число, степень принадлежности которого каждому из нечетких множеств $M_{i1}, M_{i2}, \dots, M_{im}$ определяется соответствующими значениями $\mu_j(x_i)$ функций принадлежности. Тогда вычисленные в соответствии с (6) числа $\hat{y}_1, \hat{y}_2, \dots, \hat{y}_j, \dots, \hat{y}_m$ определяют нечеткие значения степени целесообразности использования соответствующих вариантов решений для набора измеренных значений контролируемых переменных.

Поставим теперь задачу отыскания функций принадлежности нечетких чисел \hat{y}_j , $j = \overline{1, m}$. Понятно, что вид искомых функций принадлежности зависит от того, каким образом заданы функции принадлежности $\mu_j(x_i)$, $j = \overline{1, m}$, $i = \overline{1, n}$. Пусть, например, каждая из этих функций является функцией $(L-R)$ - типа [2], которая имеет вид

$$\mu(x) = \begin{cases} L \left(\frac{a-x}{\alpha} \right), & x \leq a, \\ R \left(\frac{x-a}{\beta} \right), & x > a, \end{cases}$$

где L и R являются произвольными невозрастающими на множестве неотрицательных действительных чисел функциями, $\alpha > 0$, $\beta > 0$. При этом

параметр a задает моду нечеткого числа x , а параметры α и β являются соответственно левым и правым коэффициентами нечеткости. Из этого следует, что нечеткое число $(L-R)$ -типа при фиксированных L и R функциях однозначно определяется тройкой параметров (a, α, β) . Соответствующее нечеткое число обозначается следующим образом: $B_{LR} = \langle a, \alpha, \beta \rangle$.

Удобство использования моделей $(L-R)$ -типа для описаний функций принадлежности нечетких чисел определяется простотой выполнения алгебраических операций над соответствующими нечеткими числами, которые реализуются следующим образом [2,3].

Результатом сложения двух нечетких чисел $U_{LR} = \langle a_u, \alpha_u, \beta_u \rangle$ и $V_{LR} = \langle a_v, \alpha_v, \beta_v \rangle$ является число $(L-R)$ -типа $W_{LR} = \langle a_w, \alpha_w, \beta_w \rangle$, причем $a_w = a_u + a_v$, $\alpha_w = \alpha_u + \alpha_v$, $\beta_w = \beta_u + \beta_v$.

Результатом умножения нечеткого числа $U_{LR} = \langle a_u, \alpha_u, \beta_u \rangle$ на положительную константу c является число $(L-R)$ -типа $W_{LR} = \langle a_w, \alpha_w, \beta_w \rangle$, причем $a_w = a_u c$, $\alpha_w = \alpha_u c$, $\beta_w = \beta_u c$.

Результатом умножения нечеткого числа $U_{LR} = \langle a_u, \alpha_u, \beta_u \rangle$ на отрицательную константу c является нечеткое число $(L-R)$ -типа $W_{LR} = \langle a_w, \alpha_w, \beta_w \rangle$, причем $a_w = a_u c$, $\alpha_w = -c \alpha_u$, $\beta_w = -c \beta_u$.

Результатом умножения двух нечетких чисел с положительными носителями $U_{LR} = \langle a_u, \alpha_u, \beta_u \rangle$ и $V_{LR} = \langle a_v, \alpha_v, \beta_v \rangle$ является число $(L-R)$ -типа $W_{LR} = \langle a_w, \alpha_w, \beta_w \rangle$, причем $a_w = a_u a_v$, $\alpha_w = a_u \alpha_v + a_v \alpha_u$, $\beta_w = a_u \beta_v + a_v \beta_u$.

Эти правила могут быть использованы для получения функций принадлежности нечетких чисел \hat{y}_j , $j = \overline{1, m}$, используемых в соответствии с (6). Тогда функция принадлежности нечеткого числа y_j имеет вид

$$\mu_j(y_j) = \begin{cases} L \left(\frac{\sum_{i=1}^n \hat{a}_i^j x_i^j + \sum_{i=1}^n \sum_{i_2 \neq i} \hat{a}_{i i_2}^j x_i^j x_{i_2}^j - y_j}{\sum_{i=1}^n \hat{a}_i^j \alpha_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{i_2 \neq i} \hat{a}_{i i_2}^j (x_i^j \alpha_{i_2 j} + x_{i_2}^j \alpha_{i j})} \right), \\ R \left(\frac{y_j - \left(\sum_{i=1}^n \hat{a}_i^j x_i^j + \sum_{i=1}^n \sum_{i_2 \neq i} \hat{a}_{i i_2}^j x_i^j x_{i_2}^j \right)}{\sum_{i=1}^n \hat{a}_i^j \beta_{ij} + \sum_{i=1}^n \sum_{i_2 \neq i} \hat{a}_{i i_2}^j (x_i^j \beta_{i_2 j} + x_{i_2}^j \beta_{i j})} \right). \end{cases} \quad (7)$$

Пусть в определенной ситуации принятия решения получен вектор переменных $X^* = (x_1^*, x_2^*, \dots, x_n^*)$. Тогда с использованием (7) можно рассчитать степень целесообразности использования каждого из возможных вариантов решений. Соответствующее число для j -го варианта равно

$$\mu_j(X^*) = \begin{cases} L \left(\frac{\sum_{i=1}^n \hat{a}_i^j x_i^j + \sum_{i_1=1, i_2 \neq i_1}^n \hat{a}_{i_1 i_2}^j x_{i_1}^j x_{i_2}^j - \left(\sum_{i=1}^n \hat{a}_i^j x_i^* + \sum_{i_1=1, i_2 \neq i_1}^n \hat{a}_{i_1 i_2}^j x_{i_1}^* x_{i_2}^* \right)}{\sum_{i=1}^n \hat{a}_i^j \alpha_{ij} + \sum_{i_1=1, i_2 \neq i_1}^n \hat{a}_{i_1 i_2}^j \left(x_{i_1}^j \alpha_{i_2 j} + x_{i_2}^j \alpha_{i_1 j} \right)} \right) \\ R \left(\frac{\left(\sum_{i=1}^n \hat{a}_i^j x_i^* + \sum_{i_1=1, i_2 \neq i_1}^n \hat{a}_{i_1 i_2}^j x_{i_1}^* x_{i_2}^* \right) - \left(\sum_{i=1}^n \hat{a}_i^j x_i^j + \sum_{i_1=1, i_2 \neq i_1}^n \hat{a}_{i_1 i_2}^j x_{i_1}^j x_{i_2}^j \right)}{\sum_{i=1}^n \hat{a}_i^j \beta_{ij} + \sum_{i_1=1, i_2 \neq i_1}^n \hat{a}_{i_1 i_2}^j \left(x_{i_1}^j \beta_{i_2 j} + x_{i_2}^j \beta_{i_1 j} \right)} \right) \end{cases}$$

Сравнение этих чисел для разных вариантов решений позволяет выбрать тот из них, степень целесообразности которого в ситуации, когда набор контролируемых параметров образует вектор X^* , является наибольшей.

Предложенная методика обладает рядом важных достоинств. Во-первых, она позволяет рассчитать степени целесообразности использования вариантов решений для любого набора контролируемых параметров. Во-вторых она обеспечивает возможность учета различий в важности контролируемых параметров. В-третьих, после проведения предварительного обучения, реализация методики не требует хранения громоздкой многомерной базы знаний. Наконец, в-четвертых, методика дает возможность при расчете степени целесообразности вариантов решений учитывать не только значения влияющих факторов, но и их взаимодействия требуемого порядка.

Выводы. Представлена общая методика моделирования многомерной зависимости «входы - выходы» базами нечетких знаний, которая реализуется алгоритмом, осуществляющим нечеткий логический вывод. Проведен анализ недостатков традиционной технологии формирования вариантов решений на основе многомерной базы знаний. Предложена методика выбора целесообразного варианта решения с использованием математического аппарата нечетких регрессий.

Список литературы: 1. Дюбуа Д. Теория возможностей. Пер. с франц. / Д. Дюбуа, А. Прад. – М.: Радио и связь, 1990. – 288с. 2. Леоненков А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH. / А. Леоненков. – СПб.: БХВ – Петербург, 2003. – 719с. 3. Раскин Л.Г. Нечеткая математика. / Л.Г. Раскин, О.В. Серая. – Х.: Парус, 2008. – 353с.

Поступила в редколлегию 26.01.09

А. Е. ГОЛОСКОКОВ, канд. техн. наук, профессор НТУ «ХПИ»,
М. В. САВИЧ, аспирант НТУ «ХПИ» НТУ «ХПИ»

РАЗРАБОТКА БАЗЫ ЗНАНИЙ СИСТЕМЫ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ПАЦИЕНТА С ОБОСТРЕНИЕМ БРОНХИАЛЬНОЙ АСТМЫ (НА ПРИМЕРЕ ДЕТЕЙ МЛАДШЕГО ВОЗРАСТА)

В статті розглянута проблема діагностування хворої дитини з загостренням бронхіальної астми. Виконана постановка задачі діагностування та проаналізовано підходи до її вирішення. Розглянуто проблему створення продукційної системи та бази знань.

В статье рассмотрена проблема диагностирования больного ребенка с обострением бронхиальной астмы. Выполнена постановка задачи диагностирования и проанализированы подходы к ее решению. Рассмотрена проблема создания продукционной системы и базы знаний.

In article the problem of diagnosing of the sick child with an aggravation of a bronchial asthma is considered. Statement of a problem of diagnosing is carried out and approaches to its decision are analysed. The creation problem production systems and knowledge bases is considered.

Введение. Оказание медицинской помощи является сложным, итерационным процессом, состоящим из большого количества этапов. Одним из основных этапов является этап диагностирования состояния пациента. Без качественной и своевременной постановки диагноза пациент обречен на неверное лечение, которое может оказаться фатальным. Все вышеперечисленное относится и к вопросу постановки диагноза обострения бронхиальной астмы у пациентов младшего возраста. Таким образом, не оставляет сомнения тот факт, что данная проблема является актуальной, требующей продуманного подхода к решению.

Постановка задачи. Задача диагностирования детей с обострением бронхиальной астмы решается на основе имеющихся статистических данных о пациентах. К статистической информации можно отнести данные об осмотре пациента врачом, оценки дыхания, данные о газовом составе крови. Эти показатели отражают общее состояние пациента и в медицине называются процессом сбора анамнеза [1]. На основании собранных количественных и качественных параметров, отражающих состояние ребенка, диагностируется та или иная степень обострения бронхиальной астмы. Верно решенная задача диагностирования определяет правильно назначенное лечение пациента младшего возраста.

В настоящее время диагностирование состояния больного является прерогативой врача. Однако достаточно часто возникают ситуации, когда он нуждается в помощи. Причиной этого может служить отсутствие опыта и соответствующей квалификации, а также необходимость дифференциации

предполагаемого диагноза, поскольку симптомы могут быть расплывчаты или могут быть присущи нескольким заболеваниям одновременно.

В связи с этим возникает необходимость создания систем поддержки принятия врачебных решений, в которых процесс постановки диагноза автоматизируется с помощью формальных математических процедур. Это позволит повысить эффективность решений, принимаемых врачом, снизит вероятность ошибок.

Подходы к решению задачи диагностирования. Для решения задачи диагностирования используются различные подходы. К основным из них относятся следующие:

- классические методы теории распознавания;
- нейросетевая технология;
- система продукционных правил и др.

Методы теории распознавания основываются на двух базовых подходах – стохастическом и детерминистском. Основным назначением системы распознавания образов является отыскание решений о принадлежности предъявляемых ей образов некоторому классу [2]. Для того, чтобы справиться с такой задачей, необходимо ввести ряд правил, на которых искомые решения будут основываться. Данный подход оправдывает себя в случае, когда исследователю известно пространство признаков и классы, на которые образы должны быть разбиты в соответствии с этими признаками.

Задача диагностирования также может быть решена с помощью нейросетевой технологии. Для этого сеть обучается важнейшим их признакам, таким, как геометрическое отображение точечной структуры изображения, относительное расположение важнейших элементов образа [3]. В процессе обучения выделяются признаки, отличающие образы друг от друга, которые и составляют базу для принятия решений об отнесении образов к соответствующим классам. С точки зрения медицинской диагностики заболеваний нейроны входного слоя определяют различные показатели состояния пациента, а нейроны выходного слоя отвечают за конкретные диагнозы.

Представление знаний с помощью правил-продукций позволяет выполнить эффективный вывод, поскольку нагляднее отражают знания. В продукционных системах знания представляются в виде наборов правил вида: «если А, то В». В случае медицинской диагностики А и В могут пониматься как «параметр состояния - диагноз». Часть правила после если называется посылкой, а часть правила после то – выводом. Совокупность правил называется базой знаний продукционной системы.

Работа продукционной системы заключается в применении правил к имеющимся фактам, для получения новых фактов, интересующих пользователя, и пополнения ими базы данных [4]. Сам процесс применения

правил для получения значения нужного параметра называется логическим выводом.

Решение задачи диагностирования с помощью системы продукционных правил. Решение реальной задачи, к которым, безусловно, относится задача диагностирования, характеризуется огромным количеством входной информации. Сложности, с которыми сталкивается исследователь, обусловлены не только количеством данных, но и тем фактом, что информация может быть как количественной, так и качественной. Наличие качественных параметров неизменно влечет за собой некоторую нечеткость.

Для формализации нечетких знаний применяется теория нечетких множеств. При практическом использовании нечетких множеств важным является понятие лингвистической переменной. Нечеткие и лингвистические переменные позволяют формулировать нечеткие утверждения, которые являются объектом исследований нечеткой логики. Учитывая вышесказанное база знаний продукционной системы, реализующей диагностирование пациента с обострением бронхиальной астмы, должна включать в себя правила, построенные с учетом параметров, представленных в виде лингвистических переменных.

Неполный перечень лингвистических переменных, с помощью которых описывается состояние пациента, представлен в следующей таблице.

Название лингвистической переменной	Терм-множество	Область определения X для терм-множества
ДО	{малый, средний, большой}	300-900
МОД	{малый, средний, большой}	4-8
ЧД	{низкая, средняя, высокая}	12-18
ФЖЕЛ	{малая, средняя, большая}	2,1-3,5
индекс Тиффно	{низкая, средняя, высокая}	70-75
пульс	{редкий, средний, частый}	110-150
pH артериальной крови	{низкая, средняя, высокая}	7,35-7,45
сухие свистящие хрипы	{отсутствуют, присутствуют}	0-1
сознание	{небольшое возбуждение, возбуждение, спутанность и вялость}	0-2
физическая активность	{активность не изменена, пациент предпочитает сидеть, положение ортопноэ, без движения}	0-3

Вывод в данном случае представляет собой классы заболеваний:

1 класс: легкое обострение;

2 класс: среднетяжелое обострение;

3 класс: тяжелое обострение;

4 класс: жизнеугрожающее обострение (угроза остановки дыхания).

Синтез базы знаний системы диагностирования пациента. Проблема разработки базы знаний является одной из самых сложных в процессе создания производственных систем. Этот факт обусловлен огромным количеством правил, которые должна включать база. Также в базе знаний возможно появление противоречий из-за семантически несовместимых элементов таких как: противоречия свойств и отношений, явные и скрытые противоречия, противоречия значимости и информативности. Учитывая вышеперечисленные проблемы, можно сделать вывод, что создание базы знаний требует нетривиального подхода и глубоких знаний предметной области.

Ниже приведен фрагмент базы знаний системы диагностирования пациента с обострением бронхиальной астмы (на примере детей младшего возраста).

Если ДО = большой и МОД = большой и ЧД = средняя и ФЖЕЛ = большая и индекс Тиффно = высокий и пульс = средний и рН = средняя и сухие свистящие хрипы = присутствуют и сознание = небольшое возбуждение и физическая активность = активность не изменена, То легкое обострение.

Если ДО = малый и МОД = малый и ЧД = низкая и ФЖЕЛ = малая и индекс Тиффно = низкий и пульс = редкий и рН = низкая и сухие свистящие хрипы = присутствуют и сознание = спутанность и вялость и физическая активность = без движения, То угроза остановки дыхания.

Безусловно данный фрагмент не иллюстрирует всю сложность создания базы знаний, однако дает общее представление о ее структуре и может быть использован в дальнейших исследованиях.

Выводы. Подводя итоги, необходимо отметить, что синтез базы знаний системы диагностирования является сложной, многоступенчатой задачей, требующей продуманного подхода к формированию исходного перечня лингвистических переменных, отражающих состояние пациента, а также логических выводов, соответствующих классам заболеваний.

Список литературы: 1. Жерносек В.Ф. Аллергические заболевания у детей: Руководство для врачей. – М.: Новое знание, 2003. – 334 с. 2. Неймарк Ю.И. Распознавание образов и медицинская диагностика. – М.: Наука, 1972. – 328 с. 3. Барский А.Б. Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений. – М.: Финансы и статистика, 2004. – 176 с. 4. Бондарев В.Н., Аде Ф.Г. Искусственный интеллект. – Севастополь: Изд-во СевНТУ, 2002. – 615 с.

Поступила в редколлегию 18.02.09

И. П. ГАМАЮН, д-р техн. наук, профессор НТУ «ХПИ»,
Т. А. КОВАЛЬ, студентка НТУ «ХПИ»

БИБЛИОТЕКА ОСНОВНЫХ ФУНКЦИЙ ЛОГИКИ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СИСТЕМЫ «АНЕЛИК»

На основі проведеного аналізу вимог до програмного забезпечення комерційних банків – учасників системи грошових переказів «Анелік» запропонована специфікація бібліотеки основних функціональних можливостей, що реалізують логіку роботи програмного забезпечення у системі «Анелік».

На основании проведенного анализа требований к программному обеспечению коммерческих банков – участников системы денежных переводов «Анелик» предложена спецификация библиотеки основных функциональных возможностей, реализующих логику работы программного обеспечения в системе «Анелик».

On the basis of the carried out analysis of the requirements to the software of commercial banks - participants of the system of remittances «Anelik» the specification of the library of main functionalities implementing logic of operation of the software in the «Anelik» system was offered.

Введение. «АНЕЛИК» - это международная система денежных переводов без открытия счетов, предназначенная для физических лиц и успешно работающая с 1997 года. Денежные переводы принимаются и выдаются наличными в 90 странах мира и могут быть отправлены из любой точки системы «АНЕЛИК» в любую другую точку. Система работает через корреспондентские счета банков на основе взаимных договоров с ООО КБ «Анелик РУ» (г. Москва), который является центром взаиморасчетов и программно-информационной поддержки участников. Передача информации о переводах происходит строго в зашифрованном виде посредством защищенных линий, что обеспечивает абсолютную надежность и безопасность передаваемой информации и гарантирует ее своевременную доставку адресату.

Все кредитные организации и их подразделения, обеспечивающие функционирование системы «Анелик», разделяются на несколько групп, в зависимости от роли, которую они выполняют в системе. Ниже эти группы рассматриваются подробнее.

Роль клирингового центра принадлежит ООО КБ «Анелик РУ», который является владельцем и главным администратором единой базы данных системы, обеспечивает передачу переводов от пункта приёма до пункта назначения, осуществляет взаиморасчёты между участниками.

К группе участников системы относятся кредитные организации, заключившие с клиринговым центром (ООО КБ «Анелик РУ») соглашения или договоры об осуществлении денежных переводов физических лиц без

открытия счетов. Участники могут иметь прямые корреспондентские отношения с клиринговым центром. В этом случае они называются «прямыми участниками». С прямыми участниками все расчёты по денежным переводам осуществляются непосредственно через корреспондентские счета. Некоторые участники могут не иметь корреспондентских отношений с клиринговым центром и работать через прямых участников, называемых «агентами». Расчёты с такими участниками проводятся через счета агентов, которые получают комиссионное вознаграждение за содействие в проведении платежей. Банк «ГРАНТ» является официальным представителем системы «Анелик» в Украине, а также ее украинским клиринговым центром.

Подразделения кредитных организаций, непосредственно осуществляющие приём и/или выдачу платежей, называются пунктами.

Участников системы вместе со всеми их пунктами приёма/выдачи платежей называют «направлениями».

Постановка проблемы. Банк «ГРАНТ» предоставляет клиентскую часть программного комплекса «Гермес» банкам участникам, работающим в системе «Анелик» через банк «ГРАНТ». Однако некоторые банки хотят разрабатывать свое программное обеспечение для осуществления денежных переводов в системе «Анелик» либо имеют свое рабочее программное обеспечение банковского дня, в которое хотят встроить программное обеспечение для денежных переводов. Возникает необходимость разработки библиотеки основных функций для реализации логики работы такого программного обеспечения.

Решение проблемы путем анализа требований системы «Анелик» к программному обеспечению коммерческих банков. Согласно законам Украины и нормативно-правовым актам Национального банка Украины (НБУ) деятельность платежных систем подлежит регламентированию и контролю НБУ. Поэтому к разрабатываемой библиотеке предъявляются требования НБУ и требования, основанные на взаимодействия системы «Анелик» с внешними системами.

Требования НБУ. Согласно постановлению управления НБУ про деятельность в Украине внутрисударственных и международных платежных систем., предполагается регистрация НБУ договоров про участие банков в международных платежных системах, а также согласование с НБУ правил международных платежных систем [1]. Согласно закону Украины про платежные системы и перевод средств в Украине, для формирования и обработки документов на перевод платежные системы должны использовать системы защиты информации которые должны обеспечивать непрерывную защиту информации по переводу средств на всех этапах ее формирования, обработки, передачи и хранения. Электронные документы на перевод во время их передачи средствами телекоммуникационной связи должны быть зашифрованы согласно требованиям платежной системы. Разработка

способов охраны, технологических и программно-аппаратных методов криптографической защиты осуществляется платежной организацией.

Согласно постановлению про правила осуществления физическими лицами переводов иностранной валюты по Украине для осуществления/получения перевода физическое лицо подает работнику банка документ, который подтверждает личность и заявление о переводе средств.

Требования для взаимодействия с системой «Анелик». Участники системы имеют характеристики: количество пунктов приёма/выдачи переводов; справочные данные по каждому пункту (страна, регион, город, адрес, телефоны, часы работы, выходные и праздничные дни); ограничения на работу пунктов: валюта выдачи переводов, максимальные суммы переводов и т. д.; величина комиссии за проведение переводов.

На уровне направлений осуществляется настройка величины комиссий за проведение клиентских переводов и общих ограничений на операции.

Взаимодействие системы «Анелик» с внешними системами строится на основе обмена транспортными сообщениями для выгрузки/загрузки переводов и справочными данными. При передаче транспортных сообщений выделяют их типы: новый перевод, подтверждение изменений для пункта отправки, запрос на изменение, подтверждение возврата по запросу для пункта отправки, сообщение о возврате по истечению времени для пункта отправки, запрос на возврат, уведомление о выдаче перевода для пункта отправки, реестр-выписка о проведенных платежах.

Из этих типов можно выделить некоторые, которые будут использоваться при обмене данными между украинским клиринговым центром и банком участником: новый перевод от пункта участника, подтверждение изменений для пункта участника, новый перевод для пункта участника, Подтверждение изменений для клирингового центра, реестр-выписка о проведенных платежах.

При передаче справочной информации используется один тип сообщений – Справочник участников.

В зависимости от типа сообщения его список значащих полей содержит те или иные поля: код пункта отправки, код пункта выдачи, номер перевода, дата перевода, сумма перевода, валюта перевода, входящая комиссия, плательщик: фамилия, имя, отчество, документы плательщика, уникальный номер сообщения во внешней системе, получатель: фамилия, имя, отчество.

При формировании файлов обмена система «Анелик» использует определенный формат имени файлов. По аналогии, библиотека будет использовать свой формат имени файла: <Тип сообщения><Код пункта отправки >. <Номер файла в шестнадцатеричной системе>.

В системе «Анелик» с участием клирингового центра осуществляется обмен файлами: в начале операционного дня клиринговый банк может прислать файл с справочником участников системы денежных переводов «Анелик»; банк участник посылает файлы с переводами в течение операционного дня; в

ответ клиринговый банк формирует и посылает файлы с квитанциями о приеме/отказе переводов; клиринговый банк посылает файл с переводами банку участнику; в ответ банк участник формирует файл с квитанциями о приеме/отказе переводов; в конце операционного дня клиринговый банк присылает файл реестра всех переводов за этот операционный день. Эти файлы обмена шифруются и подписываются электронно-цифровой подписью (ЭЦП). В системе шифрования предполагается генерация ключей участником по шаблонам, предоставляемым клиринговым банком и отправка их на сертификацию в клиринговый банк.

Рассмотренные требования системы «Анелик» к программному обеспечению коммерческих банков и требования НБУ выполняются следующей спецификацией библиотеки основных функциональных возможностей.

Структура **TTransferInfo** содержит набор реквизитов денежного перевода (табл. 1) и используется для обмена информацией о переводе между приложением и библиотекой.

Таблица 1

№	Поле	Описание
1	TransferId	Идентификатор перевода
2	SendBank	Код участника отправителя
3	ReceiverBank	Код участника получателя
4	TransferDate	Дата приема перевода к отправке
5	TransferCur	Валюта перевода.
6	TransferSuma	Сумма перевода
7	TransferCharges	Сумма комиссии
8	SendFio	Ф.И.О. отправителя
9	ReceiverFio	Ф.И.О. получателя
10	FileName	Имя файла, в котором был получен или отправлен перевод

Структура **TPointInfo** содержит реквизиты участника системы денежных переводов (табл. 2) и используется для передачи информации о новых участниках или участниках, изменивших свои реквизиты.

Структура **TChargeInfo** содержит реквизиты тарифа системы денежных переводов по одному направлению для одной валюты (табл. 3) и используется для передачи информации о новых тарифах или тарифах, изменивших свои реквизиты при обновлении справочника участников.

Таблица 2

№	Поле	Описание
1	PointPrefix	Код участника
2	PointDirect	Код направления
3	PointName	Название банка
4	PointAdress	Адрес банка
5	PointCity	Название города
6	PointCountry	Название страны
7	PointTelFax	Телефон, факс
8	PointWorkDay	Время работы в рабочие дни
9	PointRestDay	Время работы в выходные дни
11	PointPercent	Процент комиссионных банка

Таблица 3

№	Поле	Описание
1	ChargeDirect	Код направления
2	ChargeMinsum	Минимальная допустимая граница суммы, принимаемой пунктами направления по указанной валюте
3	ChargeMaxsum	Максимальная допустимая граница суммы, принимаемой пунктами направления по указанной валюте
4	ChargeInpercent	Общий процент комиссии
5	ChargeCurrency	Валюта

Структура **TCurrencyLimitInfo** содержит реквизиты лимита суммы перевода участника системы денежных переводов для одной валюты (табл.4) и используется для передачи информации о новых лимитах или лимитах, изменивших свои реквизиты при обновлении справочника участников.

Таблица 4

№	Поле	Описание
1	LimitPrefix	Код участника
2	LimitCurrency	Валюта
3	LimitMinsum	Минимальная допустимая граница суммы, принимаемой пунктом по указанной валюте
4	LimitMaxsum	Максимальная допустимая граница суммы, принимаемой пунктом по указанной валюте

Тип данных *TTariffName* предназначен для передачи участнику системы денежных переводов названия тарифа, с которым работает, при обновлении справочника участников.

Структура *TReceiptFileInfo* служит для передачи информации о сформированном или обработанном файле с квитанциями на переводы (табл. 5).

Таблица 5

№	Поле	Назначение
1	FileName	Имя файла-квитанции
2	FileDateTime	Дата и время создания файла-квитанции
3	SendFileName	Имя файла, на который формируется квитанция
4	SendFileSendDateTime	Дата и время создания квитанционного файла
5	ErrorCode	Код ошибки по квитанционному файлу

Структура *TCryptoContext* используется для передачи в библиотеку информации, необходимой для работы подсистемы криптографической защиты.

Структура *TDirectory* используется для передачи в библиотеку информации о рабочих каталогах программы (табл. 6).

Структура *TKeysDirectory* используется для передачи в библиотеку информации о каталогах ключей при их генерации, подготовке к сертификации и обработке сертификатов ключей (табл. 7).

Таблица 6

№	Поле	Назначение
1	Input	Директория и имя входящего файла
2	Output	Директория исходящих файлов
3	Uncrypt	Директория нешифрованных исходящих и входящих файлов

Таблица 7

№	Поле	Назначение
1	Input	Директория сертификатов, подлежащих обработке
2	Output	Директория сертификатов, подлежащих отправке
3	NewKeys	Директория ключей, проходящих сертификацию
4	Templates	Директория заготовок ключей

Функция *TAcceptTransfer* должна использоваться приложением для обработки информации о переводах. Функция *TAcceptPoint* должна использоваться приложением для обновления справочника участников системы денежных переводов. Функция *TAcceptCharge* должна использоваться приложением для обновления комиссий при обновлении справочника участников системы

денежных переводов. Функция *TAcceptCurrencyLimit* должна использоваться приложением для обновления лимита суммы перевода участника при обновлении справочника участников системы денежных переводов. Функция *TAcceptDirection* должна использоваться приложением для определения текущего направления при обновлении справочника участников системы денежных переводов.

Процедура *TGetOperDate* используется для получения даты операционного дня, который установлен в вызывающем приложении.

Функция *SignTransfer* накладывает ЭЦП на перевод.

Функция *TransfersForSend* создает в файловой системе файл с исходящими переводами готовый к отправке. В ходе формирования файла все переводы проходят проверку на корректность заполнения полей, подписываются ЭЦП. Файл подписывается ЭЦП и шифруется при помощи алгоритмов адресного шифрования. Функция *TransfersForSave* обрабатывает входящий файл переводов: расшифровывает содержимое файла, проверяет ЭЦП файла в целом и каждого перевода, вызывает функцию приложения для обработки данных по каждому переводу, формирует файл квитанции о приеме входящих переводов.

Функция *TransfersForSynchronize* обрабатывает файл сводного реестра переводов: расшифровывает содержимое файла, проверяет ЭЦП файла в целом и каждого перевода, вызывает функцию приложения для синхронизации состояний по каждому переводу.

Функция *PointsForSave* обрабатывает файл обновления справочника участников системы переводов: вызывает функцию приложения для обработки данных по каждому участнику пришедших в файл.

Функция *ReceiptForSave* обрабатывает файл квитанций отправленных переводов: расшифровывает содержимое файла, проверяет ЭЦП файла в целом и каждого перевода, вызывает функцию приложения для синхронизации состояний по каждому переводу.

Функция *MakeFilesQueue* сканирует директорию входящих файлов и составляет список в виде текста из имен файлов, разделенных символом «;» в том порядке, в котором их необходимо обработать.

Структура *TKeyInfo* используется для передачи в библиотеку и получения от нее информации о ключе при его генерации, подготовке к сертификации и обработке сертификата ключа. Функция *GenKey* запускает мастер генерации ключа и осуществляет подготовку сгенерированного ключа к сертификации. Функция *GetKeyInfo* определяет дату генерации и дату окончания действия ключа. Функция *AcceptCertificate* обрабатывает сертификат ключа, прошедшего сертификацию в клиринговом банке.

Заключение. Предлагаемая библиотека включает алгоритмы формирования и первичной обработки файлов обмена между приложением клиента и серверной частью клирингового банка. Для защиты данных электронной цифровой подписью (ЭЦП) и алгоритмами адресного шифрования предполага-

ется использование подсистемы криптографической защиты информации, разработки СНПФ «Аргус», «Программное средство криптографической защиты информации «Библиотека функций криптографической защиты информации «Грифон – Л».

Список литературы: 1. Постанова НБУ 25.09.2007 № 348 Положення про діяльність в Україні внутрішньодержавних та міжнародних платіжних систем. 2. Закон України про платіжні системи та переказ коштів в Україні. 3. Постанова НБУ 12.03.2003 № 103 Правила здійснення фізичними особами переказів іноземної валюти в межах України. 4. Постанова НБУ 02.04.2007 № 112 Правила організації захисту електронних банківських документів з використанням засобів захисту інформації Національного банку України. 5. Постанова НБУ 29.12.2007 № 496 Правила здійснення за межі України та в Україні переказів фізичних осіб за поточними валютними неторговельними операціями та їх виплати в Україні. 6. Описание системы банковских денежных переводов «Анелик». 7. Описание технологии взаимодействия системы Анелик с внешними системами

Поступила в редколлегию 05.11.08

УДК 519.7

Н. В. БОРИСОВА, аспирант НТУ «ХПИ»,
О. В. КАНИЩЕВА, аспирант НТУ «ХПИ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИНТАКСИЧЕСКОГО АНАЛИЗА В ЗАДАЧАХ АННОТИРОВАНИЯ И РЕФЕРИРОВАНИЯ ПОЛНОТЕКСТОВЫХ ДОКУМЕНТОВ

В статті пропонується модель синтаксичного аналізу у задачах анування та реферування повнотекстової інформації, з використанням алгебри скінчених предикатів та предикатних операцій. Проведено аналіз існуючих методів анування та реферування повнотекстової інформації. При ануванні та реферуванні запропоновано використовувати статистичні методи та розроблену модель разом.

В статье предлагается модель синтаксического анализа в задачах аннотирования и реферирования полнотекстовой информации, основанная на использовании конечных предикатов и предикатных операций. Проведено анализ существующих методов аннотирования и реферирования полнотекстовой информации. При аннотировании и реферировании предложено использовать статистические методы и разработанную модель вместе.

In article the model of the syntactic analysis in problems of annotation and abstracting is offered to the text-through information, based on use of final predicates and predicate operations. It is lead the analysis of existing methods of annotation and abstracting the text-through information. It is offered to use at annotation and abstraction statistical methods and the offered model together.

Введение. Актуальность проблемы аннотирования и реферирования. Искусство реферирования, или составления аннотаций, или кратких

изложений материала, иными словами, извлечения наиболее важных или характерных фрагментов из одного или многих источников информации, стало неотъемлемой частью повседневной жизни.

Задача аннотирования документов является актуальной для любых хранилищ информации: от библиотек до интернет-порталов [1, 2]. Потребности в средствах автоматического реферирования и аннотирования испытывают: корпоративные системы документооборота; поисковые машины и каталоги ресурсов Интернет; автоматизированные информационно-библиотечные системы; каналы вещания; службы рассылки новостей и другие [3]. Аннотирование требуется также и конкретному человеку, например, для быстрого ознакомления с интересующей его публикацией или с подборкой статей по определенной тематике.

Хотя некоторые производители уже сейчас предлагают инструменты для реферирования, объем информации в Сети растет и оперативно получать ее корректные сводки становится все сложнее. Такие инструменты, как функция AutoSummarize в Microsoft Office 97, системы IBM Intelligent Text Miner, Oracle Context и Inxight Summarizer (компонент поискового механизма AltaVista), безусловно, полезны, но их возможности ограничены выделением и выбором оригинальных фрагментов из исходного документа и соединением их в короткий текст [1, 2]. Подготовка же краткого изложения предполагает передачу основной мысли текста, и не обязательно теми же словами.

Текст, полученный путем соединения отрывочных фрагментов, лишен гладкости, его трудно читать. Кроме того, источники информации вовсе не всегда являются текстами, ведь необходимо подготавливать аннотации и на видеозаписи, к примеру, спортивных соревнований, или формировать сводные данные по биржевым таблицам. Перечисленные инструменты реферирования рассчитаны на обработку только текстовой информации. И, наконец, они не могут работать сразу с несколькими источниками. Так, скажем, многочисленные ленты новостей в Web сообщают об одних и тех же событиях, и в этом случае мог бы оказаться полезен инструмент, способный выделить общие места и новую информацию.

Анализ современных методов реферирования и аннотирования. В настоящее время наиболее распространено ручное аннотирование, к достоинствам которого можно отнести, безусловно, высокое качество составления аннотации – ее "осмысленность". Типичные недостатки ручной системы аннотирования – высокие материальные затраты и присущая ей низкая скорость.

Хорошее аннотирование предполагает содержание в аннотации предложений, представляющих максимальное количество тем, представленных в документе, при минимальной избыточности.

Реферирование основывается на двух подходах: общий – при создании реферата программа основывается на общих положениях создания текста (преимущество: рефераты одинаково хороши для любых тем);

специфический – при создании реферата программа уже настроена на определённые типы рефератов (например, научный, экономика).

Согласно статье [1], процесс аннотирования состоит из трех этапов: анализ исходного текста, определение его характерных фрагментов, формирование соответствующего вывода (рис. 1).

Большинство современных работ концентрируются вокруг разработанной технологии реферирования одного документа.

Выделяют два основных подхода к автоматическому аннотированию текстовых документов [4]:

Извлечение – предполагает выделение наиболее важных фрагментов (чаще всего это предложения) из исходного текста и соединение их в аннотацию (методы, основанные на этом подходе, еще называют поверхностными).

Обобщение – предполагает использование предварительно разработанных грамматик естественных языков, тезаурусов, онтологические справочники и др., на основании которых выполняется переформулирование исходного текста и его обобщение (методы, основанные на этом подходе, еще называют глубинными [4, 5]).

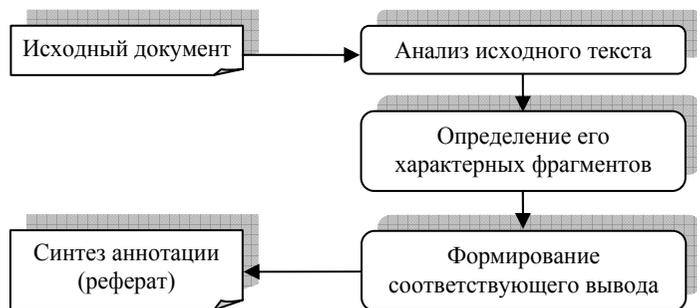


Рис. 1. Процесс аннотирования (реферирования) документа

В подходе, основанном на извлечении фрагментов методом сопоставления шаблонов, выделяют наиболее лексически и статистически значимые части (модель линейных весовых коэффициентов [3], TRM – Text Relationship Map [4]). В результате аннотация в данном случае создается простым соединением выбранных фрагментов. Этот подход легко настраивается для обработки больших объемов информации. Из-за того, что работа таких методов основана на выборке отдельных фрагментов, предложений или фраз, текст аннотации, как правило, лишен связности. С другой стороны, такой подход выдает более сложные аннотации, которые нередко содержат информацию, дополняющую исходный текст.

На рис. 2 изображена обобщенная архитектура системы автоматического реферирования, основанная на таком подходе.

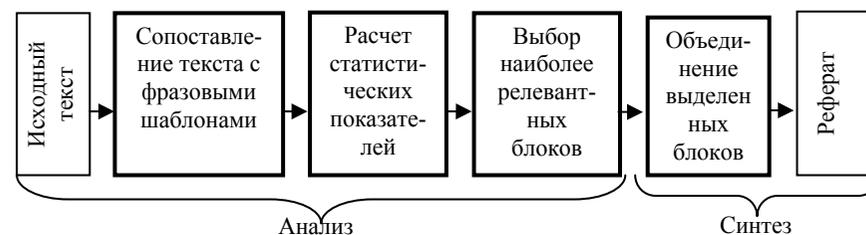


Рис. 2. Обобщенная архитектура системы автоматического реферирования

В подходе обобщения для подготовки аннотации требуются мощные вычислительные ресурсы для систем обработки естественных языков (NLP – Natural Language Processing), в том числе грамматики и словари (тезаурусы) для синтаксического разбора и генерации естественно-языковых конструкций, онтологические справочники [6].

Данный подход предполагает использование двух основных типов методов. Первый тип опирается на традиционный лингвистический метод синтаксического разбора предложения. Второй тип методов аннотирования опирается на понимание естественного языка. Синтаксический разбор также входит составной частью в такие методы анализа.

На рис. 3 изображена обобщенная архитектура системы автоматического реферирования, основанная на знаниях.

Подход, основанный на обобщении и предполагающий опору на знания, как правило, требует полноценных источников знаний. Это является серьезным препятствием для его широкого распространения. Поэтому разработчики средств автоматического аннотирования все больше склоняются к гибридным системам.

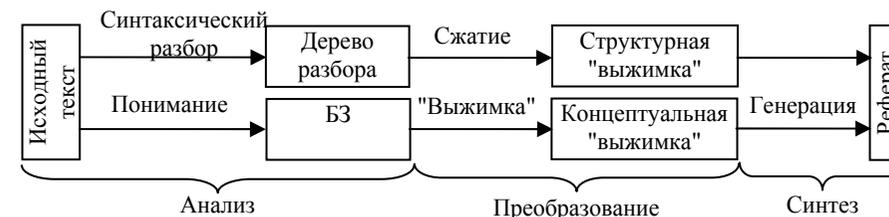


Рис. 3. Два основных подхода к формированию реферата в системах с опорой на знания

Главным ограничением обоих методов является требование сжатия. Объем аннотации, или реферата должен составлять от 5 до 30% исходного текста. Подготовка аннотаций нескольких источников информации или формирование сводок для карманных устройств предполагает еще большую степень сжатия. Добиться выполнения таких жестких требований очень

сложно, поскольку для этого необходим немалый запас знаний. Оба подхода дают примерно одинаковый результат. При их использовании раздельно либо в различных комбинациях точность лексико-грамматического анализа, скажем, английского языка улучшается до 96-98%, что сравнимо с точностью ручной обработки.

Еще одну сложность представляет оценка средств реферирования [1, 2]. Необходима гарантия того, что аннотация действительно является адекватной заменой текста, иными словами, пользователь должен быть уверен, что в кратком изложении выражены все основные мысли оригинала. Поэтому методы создания и оценки рефератов должны развиваться параллельно.

Постановка задачи и цель работы. Целью данного исследования является разработка модели синтаксического анализа предложения, охватывающие процессы реферирования и аннотирования. Синтаксический анализ и построение дерева синтаксического разбора будет реализовано с помощью алгебры предикатов и алгебры предикатных операций. Целью работы является объединить статистические методы и методы, основанные на знаниях в задачах аннотирования и реферирования полнотекстовых документов.

Моделирование синтаксического разбора в задачах аннотирования и реферирования полнотекстовых документов. Важной проблемой, возникающей при синтезе аннотаций, является отсутствие средств синтаксического и семантического анализов, а также синтеза текста на русском или украинском языках, поэтому сервисы аннотирования ориентированы либо на узкую предметную область, либо требуют участия человека.

Для частичного решения этой проблемы автором статьи предлагается использовать единый универсальный, хорошо разработанный математический аппарат. Желательно, чтобы этот математический аппарат был ориентирован также и на моделирование всех уровней лингвистической обработки текстов документов. Опыт исследования закономерностей передачи информации на естественном языке, показывает, что рационально пользоваться одним формальным аппаратом описания закономерностей передачи и интеллектуального преобразования информации. Необходимы формализмы для описания предикатов, которые реализуются при любом виде интеллектуальной обработки текстовой информации, для формирования уравнений, описывающих свойства этих предикатов. Таким наиболее универсальным аппаратом, служащим для описания закономерностей обработки информации на естественном языке, и является алгебра конечных предикатов [7].

Теперь приступим к формальному описанию предложения. Для того, чтобы увидеть в предложении формулу алгебры предикатных операций, сначала представим в виде граф-схемы синтаксическую структуру какой-нибудь формулы [8].

Возьмем, к примеру, формулу алгебры булевых функций $\overline{X_1}X_2 \vee X_3\overline{X_4}$. Ее можно выразить графически схемой, изображенной на рис. 4. Круги со знаками булевых операций \neg , \vee и \wedge изображают преобразователи формул.

Схема синтезирует формулу $\overline{X_1}X_2 \vee X_3\overline{X_4}$ из ее аргументов X_1 , X_2 , X_3 , X_4 . Так, проходя через крайний справа блок дизъюнкции, формулы $\overline{X_1}X_2$ и $X_3\overline{X_4}$ преобразуются в формулу $\overline{X_1}X_2 \vee X_3\overline{X_4}$. Та часть формулы, на которую бинарная операция (\vee или \wedge) действует первой, поступает на преобразующий блок по горизонтальному входу, второй – по вертикальному. Схема формулы представляет собой древовидный граф.

Древовидный граф – это частный случай параллельно-последовательной схемы. Любая формула может быть представлена в виде последовательно-параллельной схемы.

Попытаемся подойти к разработке метода построения подобных графов для предложений естественного языка. В грамматике для наглядного представления структуры предложений используются деревья синтаксического подчинения [9]. Их мы и примем в качестве отправного пункта при решении поставленной задачи.

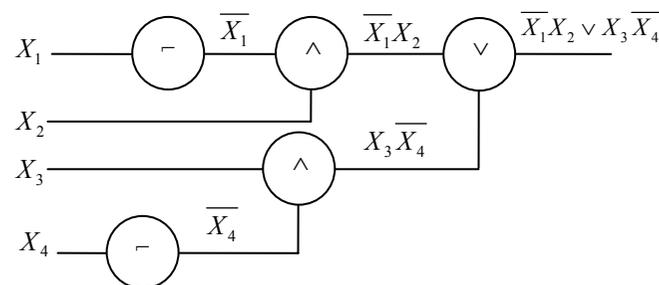


Рис. 4. Графическое представление формулы алгебры булевых функций

Пример дерева синтаксического подчинения изображен на рис. 5. Слова предложения соединяются в пары стрелками, называемыми дугами.



Рис. 5. Пример дерева синтаксического подчинения

Результат такого соединения называется словосочетанием. Слово, из которого дуга исходит, называется главным, а слово, в которое она входит – зависимым. Корнем предложения называется слово, в которое не входит ни одна из дуг.

Построение деревьев синтаксического подчинения для большого числа предложений показало, что связи между словами всегда образуют древовидную структуру, аналогичную той, которая изображена на рис. 5. Этот факт свидетельствует о том, что в предложении, кроме линейного порядка слов, существуют еще и направленные связи между словами.

Ниже описывается метод построения схемы формулы предложения. В качестве примера, возьмем предложение "Методы и алгоритмы Data Mining наиболее эффективны при анализе больших объемов данных" (Пример предложения взят из книги Барсегян А.А., Куприянов М.С., Степаненко В.В., Холод И.И. Технология анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP). Переходя от схемы к формуле, получаем следующую формулу алгебры предикатов, выражающую смысл предложения:

$$((\text{Методы}1(\text{алгоритмы}))2(\text{Data Mining}))9((\text{наиболее}3(\text{эффективны})8((\text{при}4(\text{ана- лизе}))7((\text{больших}5(\text{объемов}))6(\text{данных}))))). \quad (4)$$

Заменяя в этом выражении все слова соответствующими им предикатными переменными $X_1 \div X_{10}$, приходим к формуле алгебры предикатных операций, выражающей синтаксическую структуру рассматриваемого предложения.

$$((X_1 X_2) 2 X_3) 9((X_4 3 X_5) 8((X_6 4 X_7) 7((X_8 5 X_9) 6 X_{10}))), \quad (5)$$

Схема формулы предложения построена по его дереву синтаксического подчинения, так что, при желании, всегда можно возвратиться от схемы к дереву. Однако, схема содержит в себе и нечто новое, а именно: блоки, синтезирующие текст предложения из его отдельных элементов; полюсы, на которых появляются предложения и словосочетания; очередность выполнения синтеза формулы предложения блоками схемы (рис. 6). По схеме можно построить формулу предложения.

Номера выполняют в формуле роль имен операций, скобки указывают очередность их выполнения и последовательность применения каждой операции к словам, а формы слов представляют собой значения аргументов формулы.

В теории естественного языка принято, что отдельные слова выражают предикаты. Отсюда следует, что символы $X_1 \div X_{10}$ выражают предикатные переменные, номера $1 \div 10$ – предикатные операции, а само выражение (5) – формулу алгебры предикатных операций. Формула (4) выражает имя предиката предложения.

После дополнения предложения предметными переменными по методике, описанной выше, оно превращается в формулу алгебры предикатов. Итак, мы видим, что естественный язык имеет двухъярусное строение. Первый ярус представлен некоторой алгеброй предикатов, второй – алгеброй предикатных операций.

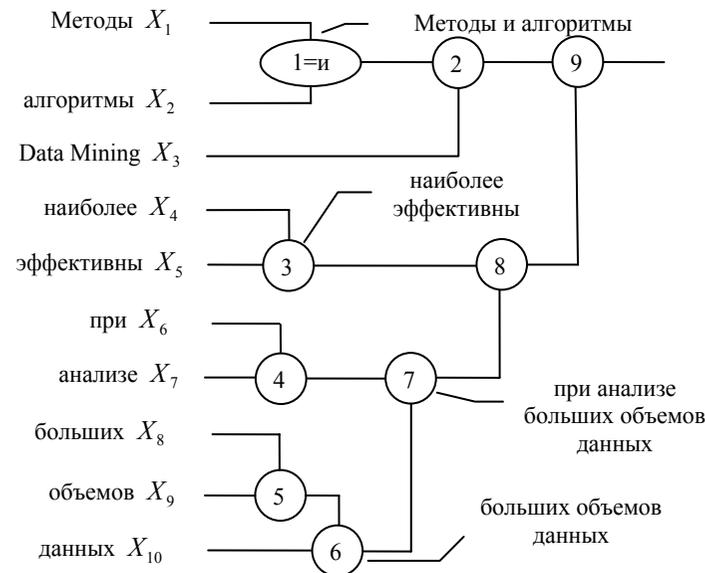


Рис. 6. Схема формулы предложения

Семантика предложения, формально описывается на языке алгебры предикатов, синтаксис, т.е. строение предложения, – на языке алгебры предикатных операций. Формула (5) показывает, в какой последовательности и из каких слов образуется предложение типа "Методы и алгоритмы Data Mining наиболее эффективны при анализе больших объемов данных".

Только что при рассмотрении синтаксической структуры предложения нам пришлось обратиться к понятию алгебры предикатных операций [10, 11, 12]. Дадим его формальное определение. Пусть U – универсум предметов; x_1, x_2, \dots, x_m – предметные переменные; P – множество всех предикатов $P(x_1, x_2, \dots, x_m)$ на предметном пространстве U^m . Множество P называется универсумом предикатов. Переменные X_1, X_2, \dots, X_k , определенные на множестве P , называются предикатными. Их значениями служат предикаты, заданные на U^m . Множество P^k называется предикатным пространством размерности k над предметным пространством U^m . Элементы множества P^k (k -компонентные наборы предикатов) называются предикатными векторами. Предикатное пространство представляет собой двухэтажную конструкцию: на ее первом этаже находятся предметы, на втором – предикаты. Любая функция $F(X_1, X_2, \dots, X_k) = Y$, отображающая множество P^k в множество P , называется предикатной операцией. Образум

множество R всех предикатных операций. Алгеброй предикатных операций над R называется любая алгебра, заданная на носителе R .

Пусть $F(X_1, X_2, \dots, X_k) = Y$ – предикатная операция, отображающая множество P^k в множество P . Здесь X_1, X_2, \dots, X_k – предикатные переменные, выступающие в роли аргументов операции F ; Y – предикатная переменная, являющаяся значением операции F . Отрицанием $\neg F = \bar{F}$ предикатной операции F называется такая предикатная операция, значения которой определяются по правилу

$$(\neg F)(X_1, X_2, \dots, X_k) = \neg F(X_1, X_2, \dots, X_k), \quad (6)$$

для любых $X_1, X_2, \dots, X_k \in P$. Пусть F и G – предикатные операции, отображающие P^k в P . Дизъюнкцией $F \vee G$ предикатных операций F и G называется предикатная операция, значения которой определяются по правилу

$$(F \vee G)(X_1, X_2, \dots, X_k) = F(X_1, X_2, \dots, X_k) \vee G(X_1, X_2, \dots, X_k), \quad (7)$$

для любых $X_1, X_2, \dots, X_k \in M$. Конъюнкцией $F \wedge G$ предикатных операций F и G называется предикатная операция, значения которой определяются по правилу

$$(F \wedge G)(X_1, X_2, \dots, X_k) = F(X_1, X_2, \dots, X_k) \wedge G(X_1, X_2, \dots, X_k), \quad (8)$$

для любых $X_1, X_2, \dots, X_k \in M$. В последних трех равенствах слева от знака равенства фигурируют операции \neg , \vee и \wedge над предикатными операциями; справа знаки \neg , \vee и \wedge обозначают операции над предикатами. Булевой алгеброй предикатных операций называется любая алгебра предикатных операций с базисом операций, состоящим из отрицания, конъюнкции и дизъюнкции.

Основные результаты и выводы. В отличие от других, ранее применяемых методов синтаксического анализа, предложенный логико-семантический метод опирается на структуру предложений и семантику текста в целом. Он позволит качественно аннотировать (реферировать) полнотекстовые документы. Качество аннотирования (реферирования) обеспечивается за счет синтаксического анализа, реализованного с помощью алгебры конечных предикатов и предикатных операций.

Список литературы: 1. Удо Хан, Индерджит Мани. Системы автоматического реферирования. "Открытые системы", 2000, № 12. 2. Nahn U., Mani I. The challenges of automatic summarization. IEEE Computer, 33(11):29-35, 2000. 3. Башмаков А. И., Башмаков И. А. Интеллектуальные информационные технологии: Учеб. Пособие. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. – 304 с. 4. Барсегян А. А., Куприянов М. С., Степаненко В. В., Холод И. И. Технология анализа данных: Data Mining, Visual Mining, Text Mining, OLAP. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 384 с.

5. Браславский П., Колычев И. Автоматическое реферирование веб-документов с учетом запроса. Грант ООО "Яндекс" № 102707, company/yandex.ru/grant/2005/11_Braslavski_102707.pdf. 6. Марчук Ю. Н. Компьютерная лингвистика: учебное пособие /Ю.Н. Марчук. – М.: АСТ: Восток – Запад, 2007. – 317 с. 7. Дударь З. В., Рассадникова А. В., Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Тексты естественного языка как формулы лингвистической алгебры // АСУ и приборы автоматики. – 1998. – № 107. – С. 135-144. 8. Баталин А. В. Формальное описание структуры естественного языка как алгебры предикатных операций и его применение в системах искусственного интеллекта. – Дис. ... канд. Техн. Наук. – Харьков: ХНУРЭ, 2004. – 168 с. 9. Хайрова Н. Ф., Замаруева И. В. Машинный перевод: Навч. посіб. – Харків: Око, 1998. – 82 с. 10. Бондаренко М. Ф., Шабанов-Кушнаренко Ю. П. Теория интеллекта: Учебник. – Харьков: ООО «Компания СМІТ», 2006. – 267-281. 11. Шабанов – Кушнаренко Ю. П. Теория интеллекта: Проблемы и перспективы – Х.: Вища шк., 1987. 12. Шабанов-Кушнаренко Ю. П., Шаронова Н. В. Компараторная идентификация лингвистических объектов – К., ИСИО, 1993.

Поступила в редколлегию 20.01.09

УДК 519.7

С. В. ГОНЧАРОВ, аспирант НТУ «ХПИ»,
САЙЕД МОХАММАД ТАУХИД СИДДИКИ, аспирант НТУ «ХПИ»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДИКАТНЫХ КАТЕГОРИЙ ДЛЯ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ИНФОРМАЦИИ В ДОКУМЕНТАХ

В статті пропонується модель представлення знань, яка базується на використанні предикатних категорій та алгебри скінчених предикатів. Зроблені висновки відносно того, що теорія категорій та її предикатна інтерпретація дозволяють описувати процеси формування множин знань у базах даних логічного типу.

В статье предлагается модель представления знаний, основанная на использовании предикатных категорий и алгебры конечных предикатов. Сделаны выводы о том, что теория категорий и ее предикатная интерпретация позволяют описывать процессы формирования множества знаний в базах знаний логического типа.

In the article the model of representation of the knowledge, based on use of predicate categories and algebras of final predicates is offered. Conclusions that the theory of categories and its predicate interpretation allow to describe processes of formation of set of knowledge in bases of knowledge of logic type are made.

Введение. Существует несколько основных моделей представления текстовой информации (знаний): логические, сетевые продукционные и фреймовые. Каждая из них имеет свои средства и свой язык представления информации в виде текстов естественного языка. В основе всех этих моделей лежит использование правил логического вывода для получения новых знаний на основе имеющихся. Главной задачей при этом является разработка такого способа представления знаний, который бы охватывал различные

модели представления знаний и отличался от них единым формальным языком представления и обработки информации. В качестве такого единого языка представляется логичным использовать язык алгебры предикатов и предикатных операций [1, 2].

Еще более абстрактным и мощным инструментом, который можно использовать для нужд информатизации, в том числе для машинного представления и обработки знаний, является теория категорий. Теория категорий была разработана на основе исследований в области гомологии и гомологической алгебры. Авторами теории категорий Эленбергом и Маклейном были введены понятия безобъектной категории и категории с объектами. Для расширения возможностей классической теории категорий в области информатизации разработаны понятия предикатной категории, модифицированной категории и квазикатегории [3].

Цель работы. Создание модели представления знаний, основанной на использовании предикатных категорий и алгебры конечных предикатов.

Основной материал. В толковом математическом словаре [4] дается определение категории как совокупности однотипных математических объектов (множеств, пространств, групп и т. д.) и их отображений друг на друга (морфизмов). Класс объектов категории K обозначается $Ob K$, а класс морфизмов – $Mor K$. Безобъектная классическая категория является одним из видов алгебр и задается множеством M , элементы которого называются *морфизмами* и единственной частичной бинарной операцией fg умножения морфизмов, отображающей декартово произведение $M \times M$ в M . Морфизмы рассматриваются как некоторые бесструктурные элементы множества M . Существуют также тождественные или единичные морфизмы $e \in M$ такие, что существует произведение $ee = e$ и для любых $f, g \in M$, для которых существует произведение fe и eg выполняются равенства $fe = f$ и $eg = g$. Так как операция умножения является в общем случае частичной, существует единственный левый единичный морфизм e_f и единственный правый единичный морфизм e_f , для любого морфизма $f \in M$ такие, что $fe_f = e_f f = f$. Произведение fg морфизмов f и g существует только в том случае, если правый единичный морфизм морфизма f совпадает с левым морфизмом морфизма g таким образом, что $fe = f$ и $eg = g$.

Произведение морфизмов ассоциативно $(fg)h = f(gh)$ для любых $f, g, h \in M$, для которых существуют произведения $(fg)h$ и $f(gh)$. Множество M морфизмов с единичными морфизмами и с действующей на нем операцией умножения, обладающей выше приведенными свойствами, называется *безобъектной категорией* K . Обозначают $M = MorK$, $f \in M$,

$f \in MorK$. $MorK$ – это множество всех морфизмов категории K . Если $f \in MorK$, то говорят, что морфизм f является K – морфизмом.

В объектной категории дополнительно к морфизмам вводится понятие объектов. Множество объектов категории K обозначается $Ob K$. Объекты обозначаются буквами A, B, C, \dots . Если $A \in Ob K$, то A является объектом категории K или K – объектом. Говорят, что f есть морфизм из объекта A в объект B и пишут $f : A \rightarrow B$ или $A \xrightarrow{f} B$. Объект A называется началом морфизма f , а объект B – его концом. Каждой паре объектов $A, B \in Ob K$ ставится в соответствие некоторое, возможно даже пустое, множество $H_K(A, B)$ морфизмов категории K . Иначе его обозначают $Hom_K(A, B)$, $MorK(A, B)$ или проще $H(A, B)$, $Hom(A, B)$, $Mor(A, B)$. Для каждого морфизма $f \in MorK$ существует единственная пара объектов A и B такая, что $A, B \in ObK$ и $f \in H_K(A, B)$. Это утверждение говорит о том, что, если морфизмы интерпретировать как некоторые функции, то каждая функция должна иметь область определения A и область значений B . Иначе функция будет задана не полностью.

Над множеством $MorK$ определена, вообще говоря, частичная двухместная операция умножения морфизмов. Произведение fg морфизмов $f : A \rightarrow B$ и $g : C \rightarrow D$ определено только в том случае, если $B = C$, то есть конец морфизма f совпадает с началом морфизма g . В этом случае произведение fg является морфизмом из объекта A в объект D . В данном случае для объектов $A, B, C \in K$ определено отображение $H_K(A, B) \times H_K(B, C) \rightarrow H_K(A, C)$. Знак \times в данном случае обозначает декартово произведение множеств морфизмов. Морфизмы f, g категории K вида $f : A \rightarrow B$ и $g : B \rightarrow C$ называются последовательными, а морфизмы вида $f : A \rightarrow B$ и $g : A \rightarrow B$ – параллельными. Умножение морфизмов ассоциативно

$$(fg)h = f(gh), \quad (1)$$

когда $f : A \rightarrow B$, $g : B \rightarrow C$, $h : C \rightarrow D$.

Равенство (1) выражает категорный закон ассоциативности. Закон ассоциативности можно наглядно отобразить в виде категорной диаграммы (рис. 1).

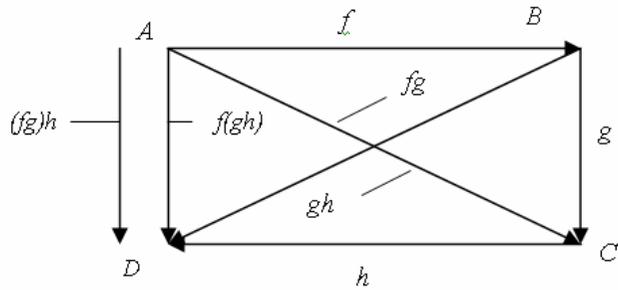


Рис. 1. Категорная диаграмма закона ассоциативности

Любая категорная диаграмма состоит из объектов категории и стрелок (морфизмов) и представляет собой ориентированный раскрашенный граф. Категорные диаграммы делятся на замкнутые и разомкнутые. Замкнутые категорные диаграммы называются коммутативными, так как результат действия морфизмов при их последовательном выполнении зависит только от начального и конечного положения объектов категории на диаграмме. Категорные диаграммы делятся на общие и частные. Общие коммутативны для всех объектов и морфизмов категории. Общими коммутативными диаграммами выражаются свойства какой-либо конкретной категории. Частные категорные диаграммы относятся к конкретным объектам и морфизмам. Они могут быть как замкнутыми, так и разомкнутыми. Для каждого объекта $B \in Ob K$ существует морфизм $e_B: B \rightarrow B$, называемый единичным или тождественным морфизмом объекта B , такой, что

$$fe_B = f \text{ и } e_B g = g, \quad (2)$$

для всех морфизмов $f: A \rightarrow B$, и $g: B \rightarrow C$. Тожества (2) называются категорными законами тождества. Они выражаются следующей коммутативной диаграммой тождества (рис. 2).

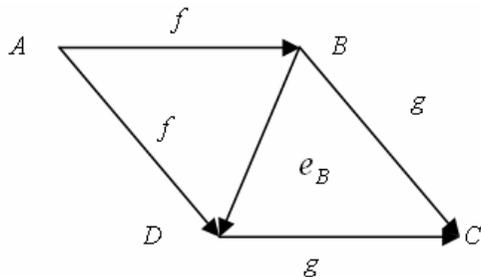


Рис. 2. Коммутативная диаграмма тождества

Классическая категория допускает различные интерпретации, в том числе проективную и предикатную интерпретации [3]. Предикатная интерпретация является наиболее важной для нужд информатизации. Предикатная категория $Pred$ задается на некотором универсуме U . В роли объектов A, B, C, \dots категории $Pred$ используются произвольные подмножества универсума U . В роли множества объектов $Ob Pred$ выбираем систему всех подмножеств универсума U . В роли морфизма $f: A \rightarrow B$ категории $Pred$ используется произвольный линейный логический оператор $F_f(P) = Q$, преобразующий предикат P в предикат Q . Линейный логический оператор записывается в виде:

$$\exists x \in A (K_f(x, y)P(x)) = Q(y). \quad (3)$$

Предикат $P(x)$ задан на множестве A , а предикат $Q(y)$ задан на множестве B . Предикат $P(x)$, заданный на множестве A рассматривается как экземпляр объекта A , предикат $Q(y)$ на B – как экземпляр объекта B . Морфизм $f: A \rightarrow B$ преобразует экземпляры объекта A в экземпляры объекта B . Предикат $K_f(x, y)$ является ядром линейного логического оператора F_f . Он полностью характеризует вид преобразования (3). Предикат $K_f(x, y)$ задан на декартовом произведении $A \times B$ множеств A и B . Морфизм f вида (3) полностью задан предикатом $K_f(x, y)$. В роли множества $Mor(A, B)$ берется система всевозможных операций вида (3). В категории $Pred$ каждому морфизму $f \in Pred$ взаимно однозначно соответствует ядро $K_f(x, y)$ преобразования (3). Каждый морфизм $f: A \rightarrow B$ категории $Pred$ можно задать, указав предикат $K_f(x, y)$, заданный на $A \times B$. Множество $Mor Pred$ получается объединением множеств $Mor Pred(A, B)$, где (A, B) всевозможные пары множеств $A, B \subseteq U$ или в виде совокупности преобразований (3) со всевозможными ядрами $K_f(x, y)$, заданных на всевозможных декартовых произведениях $A \times B$ множеств $A, B \subseteq U$.

Примером ядра морфизма, заданного на декартовом произведении $A \times B$ множеств $A = \{a, o, y\}$ и $B = \{d, ж, m, x\}$ может служить предикат

$$K_f(x, y) = x^a (y^o \vee y^ж \vee y^x) \vee x^o (y^m \vee y^x) \vee x^y (y^ж \vee y^x). \quad (4)$$

Двудольный граф предиката $K_f(x, y)$ представлен на рис. 3.

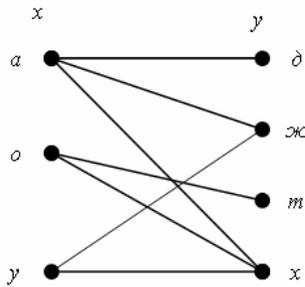


Рис. 3. Двудольный граф предиката $K_f(x, y)$

Линейный логический оператор с этим ядром запишется так:

$$Q(y) = \exists x \in \{a, o, y\} (x^a (y^o \vee y^{жс} \vee y^x) \vee x^o (y^m \vee y^x) \vee x^y (y^{жс} \vee y^x)) P(x) \quad (5)$$

Если вместо предиката $P(x)$ подставить в формулу (4) его конкретное значение, например $P(x) = x^a \vee x^y$, то в результате получим следующее значение предиката $Q(y)$:

$$Q(y) = \exists x \in \{a, o, y\} (x^a (y^o \vee y^{жс} \vee y^x) \vee x^o (y^m \vee y^x) \vee x^y (y^{жс} \vee y^x)) (x^a \vee x^y) = y^o \vee y^{жс} \vee y^x \quad (6)$$

Этот результат можно получить и графически, если элементам множества $P = \{a, y\}$ с помощью ребер двудольного графа предиката $K_f(x, y)$ поставить в соответствие связанные с ними элементы множества $Q = \{д, жс, х\}$. Таким образом, морфизм (5) преобразует множество $P = \{a, y\}$ в множество $Q = \{д, жс, х\}$.

Данный пример иллюстрирует возможность использования морфизмов предикатной категории для хранения знаний о том, какие двухбуквенные слова русского языка могут быть образованы на множествах гласных и согласных букв $A = \{a, o, y\}$ и $B = \{д, жс, т, х\}$, а также для выполнения запросов типа «Какие двухбуквенные строки образуют слова, если на первом месте стоят буквы a и y ?». В данном случае может быть образованно пять таких слов: «ад», «аж», «ах», «уж», «ух». Ядро линейного логического оператора можно рассматривать как знания или правила получения знаний, а сам линейный логический оператор как механизм выполнения запроса для получения новых знаний.

Если ядро линейного логического оператора реализовать аппаратно в виде переключательной цепи, то получим один из блоков лингвистического процессора, который может хранить знания о правилах образования двухбуквенных слов русского языка и может выполнять запросы выше приведенного типа.

Подобные линейные логические операторы могут быть использованы для хранения знаний о правилах образования морфемных цепочек, словосочетаний, предложений, а также для получения семантических значений словоформ по известным семантическим значениям морфем, семантических значений словосочетаний по известным семантическим значениям отдельно взятых слов и т. д.

Таким образом, семантическое значение любого фрагмента текста данного уровня может быть получено по семантическим значениям фрагментов текста предыдущего уровня с помощью соответствующих линейных логических операторов.

Основные результаты и выводы. На основании всего выше изложенного можно сделать следующие выводы. Теория категорий и ее предикатная интерпретация позволяют описывать процессы формирования множества знаний в базах знаний логического типа. Логические принципы формирования баз знаний присущи не только логическим моделям представления знаний. Аналогичные механизмы логического вывода работают при формировании множеств знаний в сетевых, продукционных и фреймовых моделях представления знаний.

Используя предикатные категории для описания формирования баз знаний, множество правил вывода можно хранить в виде ядер линейных операторов, а сам механизм формирования знаний в виде линейных операторов, представленных с помощью формул алгебры предикатов. Схемная реализация линейных операторов позволит создать процессор обработки и формирования знаний, включающий базу знаний и блок логического вывода на знаниях.

Теория категорий дает возможность ясно и наглядно описывать процессы формирования и обработки знаний в виде категорных диаграмм. Теория категорий может стать реальной основой создания систем интеллектуальной обработки текстовой информации.

Список литературы: 1. Бондаренко М. Ф., Шабанов-Кушнарченко Ю. П. Теория интеллекта. Учебник. – Харьков: ООО «Компания СМИТ», 2006. – 576 с. 2. Шабанов-Кушнарченко Ю. П., Шаронова Н. В. Компаративная идентификация лингвистических объектов: Монография. – Киев: Изд-во Ин-та системных иссл. образования Украины, 1993. – 116 с. 3. О модифицированных категориях / М. Ф. Бондаренко, З. В. Дударь, А. А. Иванюков, В. В. Маникин, Ю. П. Шабанов-Кушнарченко // Радиотехника и информатика. 2005. № 1, с 87-99. 4. Першиков В. И. Толковый словарь по информатике: Свыше 10 000 терминов/ В. И. Першиков, В. М. Савинков; рец. Л. Д. Райков. – М.: Финансы и статистика, 1995.-543 с.

Н. А. СОКОЛОВА, д-р техн. наук, профессор ХНТУ,
Д. В. ПРОХОРЕНКО, аспирант ХНТУ

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СИНТЕЗ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ

В статті приведено нові підходи до синтезу системи обробки інформації і управління, які базуються на використанні потенційних можливостей складних систем, а також фізичних і логічних закономірностей їх поведінки.

В статье приведены новые подходы к синтезу систем обработки информации и управления, которые базируются на использовании потенциальных возможностей сложных систем, а также физических и логических закономерностях их поведения.

New approaches are led in article to the synthesis systems of processing information and management, which are based on the use of potential possibilities of the difficult systems and also physical and logical regularity their conducts.

Введение. В условиях переходной экономики, характеризующейся качественными изменениями производительных сил и производственных отношений, актуальна проблема синтеза, эффективной системы обработки информации и управления (СОИУ), способной осуществлять цели экономического развития промышленного производства (ПП). Задача перестройки механизма управления ПП базируется на концепции такого механизма, который мог бы гибко приспосабливаться к изменяющимся условиям внешней с внутренней сред, учитывая неопределенности различного рода.

Современные распределенные системы обработки информации и управления (СОИУ) включают большое количество территориально распределенных и взаимодействующих между собой компонентов. Инфраструктура распределенных СОИУ представляет собой специализированную сеть ЭВМ с развитой системой передачи данных, так как практически все виды обработки информации и управления процессом функционирования производятся с помощью ЭВМ (специализированных и универсальных) рассредоточенных по отдельным удаленным компонентам системы. Вполне очевидно, что создание таких СОИУ в приемлемые сроки и с высокими тактико-техническими характеристиками возможно лишь на основе широкой автоматизации процессов проектирования и отладки систем с применением современных математических методов и быстродействующих ЭВМ.

Системы рассматриваемого класса являются специфическим объектом проектирования в связи с тем, что их назначением является реализация

сложных комплексов алгоритмов при условии удовлетворения множества ограничений. Эти системы в общем случае включают два типа средств цифровой обработки данных: цифровые специализированные процессоры с жесткой или перестраиваемой структурой и многопроцессорные (многомашинные) вычислительные комплексы.

При проектировании таких систем должен быть решен ряд крайне сложных задач с учетом большого числа факторов. Основными из этих задач являются: синтез алгоритмов функционирования системы; преобразование комплекса алгоритмов системы и отдельных частных алгоритмов, образующих комплекс алгоритмов, к параллельной форме, обеспечивающей реализацию всего комплекса алгоритмов системы в реальном времени; определение необходимого соотношения аппаратурных и программно-управляемых средств (спецпроцессоров и многопроцессорных или многомашинных вычислительных комплексов); выбор оптимальных типов многопроцессорных комплексов для применения в системе и определение их основных структурных характеристик (количества процессоров, количества подпроцессоров, системы команд, времени выполнения команд, количества уровней памяти и характеристик различных уровней памяти и т. п.); разработка новых классов многопроцессорных комплексов, учитывающих специфические особенности цифровой обработки данных в рассматриваемых системах; разработка методов формализации и автоматизации проектирования структур спецпроцессоров и компонентов программно-управляемых средств и т. д.

Анализ последних исследований. К настоящему времени получены существенные результаты в области автоматизации проектирования на схемотехническом уровне. Разработаны методы и средства синтеза логических узлов и устройств ЭВМ и цифровых автоматов по известным алгоритмам их функционирования [1]. Большинство исследований, посвященных вопросам синтеза СОИУ, предполагает создание формализованных процедур выбора оптимальных вариантов организации системы: функциональной, организационной, информационной, алгоритмической, технической [2-5]. В то же время задача формализации и автоматизации проектирования сложных систем на основе системного подхода в настоящее время не решена. При этом естественным является стремление организовать систему и представлять ее в таком виде, что выбор ее целей будет достигнут. Это является сложной задачей – задачей синтеза ее функциональной структуры.

Отсутствие методов автоматизации структурного и функционально-логического проектирования сложных автоматизированных систем управления не позволяет обеспечить сквозную автоматизацию системного проектирования: от задания исходного комплекса алгоритмов и системных требований к параметрам их реализации до получения логических, принципиальных схем и соответствующей конструкторской документации, а

в перспективе – до получения изделий с помощью гибких автоматизированных программно-управляемых производств.

Постановка задачи. Сегодня становится очевидным, что создание эффективных СОИУ требует разработки новых принципов их проектирования. На смену эволюционному подходу к проектированию таких систем должен прийти более прогрессивный подход, учитывающий новое качество – сложность систем. Эти новые принципы проектирования должны обеспечить возможно более полную формализацию процессов функционирования проектирования сложных систем и на этой основе решить задачу автоматизации всех основных этапов проектирования.

Цель статьи. В данной работе ставится задача разработки элементов методологии автоматизированного проектирования СОИУ, основанной на использовании потенциальных возможностей сложных систем, а также физических и логических закономерностях их поведения.

Основной материал. Управляющие комплексы составляют основу любой информационно-управляющей системы (ИУС) и берут на себя значительную тяжесть проблемы автоматизации проектирования ИУС в целом.

При постановке задачи автоматизации проектирования таких комплексов необходимо учитывать следующие основные особенности их функционирования [5]:

- Решение задач по обработке информации и управлению осуществляется на основе комплекса алгоритмов (КА), представляющего собой совокупность взаимосвязанных частных алгоритмов (ЧА), соответствующих различным частным функциональным задачам системы.
- Множественность и случайный характер объектов, для которых реализуется комплекс алгоритмов.
- Относительная стабильность комплекса алгоритмов, представляющих в совокупности специализированное математическое обеспечение системы.
- Стабильность состава и структуры средств, используемых в процессе эксплуатации системы для реализации КА.
- Необходимость реализации всего комплекса алгоритмов в условиях жестких системных ограничений, связанных с особенностями построения и функционирования системы в реальном масштабе времени.

Основные этапы, составляющие автоматизированного проектирования СОИУ как сложной цифровой системы обработки информации и управления, представлены на рис. 1.

На первом этапе реализуется сложный и трудоемкий процесс, связанный с созданием идеологии решения задач, разработкой математических моделей

процессов функционирования, разработкой соответствующих алгоритмов управления, и в конечном итоге полного комплекса алгоритмов обработки информации и управления. Указанный этап имеет исключительно важное значение, поскольку от него зависит получение эффективных и надежных алгоритмов, обеспечивающих оптимальное (адаптивное) управление в ИУС.

На втором этапе решается задача синтеза функциональной структуры комплекса. Отмеченные выше особенности управляющих комплексов рассматриваемого класса обуславливают многообразие типов вычислительных средств, которые могут являться компонентами сложных цифровых систем обработки информации и управления (рис.2).

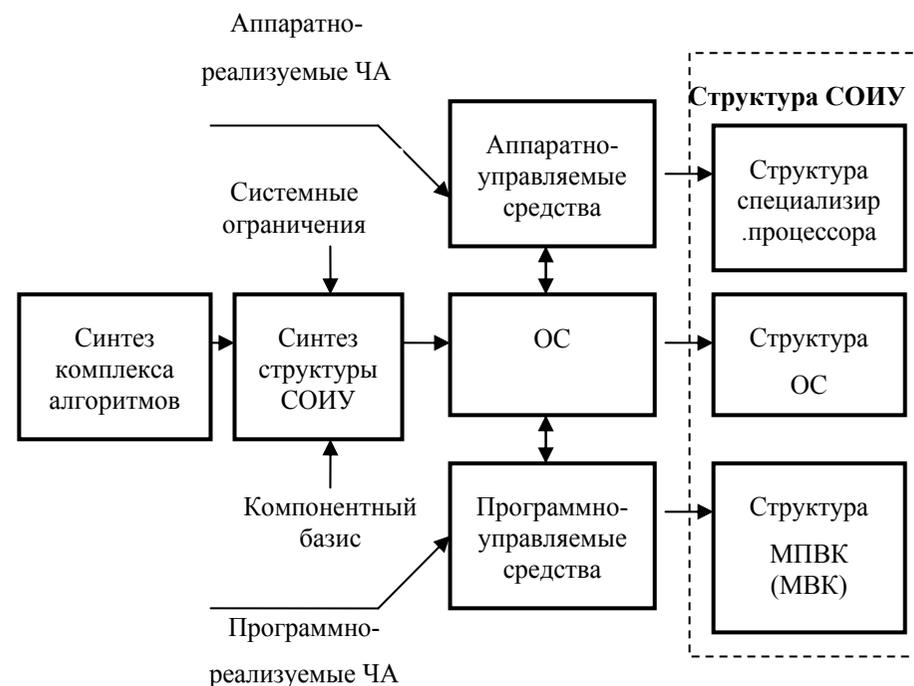


Рис. 1. Этапы и составляющие автоматизированного структурного проектирования СОИУ

В самом общем случае вычислительные средства могут подразделяться на аппаратно-управляемые, программно-управляемые и микропрограммно-управляемые средства и включать существующие и новые типы спецпроцессоров с жесткой или перестраиваемой логикой функционирования, традиционные многопроцессорные вычислительные комплексы (МПВК) классов ОКМД и МКМД, новые классы МПВК и

многомашинных вычислительных комплексов (МВК), многопроцессорные и многомашинные комплексы мини-ЭВМ, микропроцессорные комплекты и мультипрограммные комплексы.

Задача синтеза функциональной структуры СОИУ формулируется следующим образом: используя в качестве исходной информации заданный комплекс алгоритмов, системные требования к реализации данного комплекса алгоритмов (КА) в реальном масштабе времени и характеристики имеющейся в распоряжении разработчика элементной базы (средств вычислительной техники (ВТ)), определить структуру системы, включая решение следующих задач:

а) оптимального разбиения КА на два подмножества: подмножество частных алгоритмов (ЧА), подлежащих реализации с помощью соответствующих спецпроцессоров с жесткой или перестраиваемой структурой (т.е. с помощью аппаратно-управляемых средств), и подмножество ЧА, реализуемых программно-управляемыми средствами (многопроцессорные вычислительные комплексы (МПВК), многомашинные вычислительные комплексы (МВК));

б) синтеза структуры спецпроцессоров с детализацией до типовых элементов и узлов цифровой вычислительной техники или микропроцессорных комплектов интегральных схем, обеспечивающих в общем случае параллельную реализацию частных алгоритмов в требуемое время при минимальной стоимости (или в минимально возможное время при заданных ограничениях на допустимое количество оборудования);

в) выбора из существующих многопроцессорных (многомашинных) вычислительных комплексов комплекса, обеспечивающего максимальную эффективность реализации соответствующего подмножества частных алгоритмов КА, и определения количественных значений основных структурных характеристик комплекса: количество процессоров или ЭВМ, количества подпроцессоров, иерархии памяти, характеристик различных уровней памяти и т. п.;

г) определения рационального разбиения множества функций операционной системы на два подмножества, реализуемых аппаратными и программными средствами, и синтеза структуры аппаратной части операционной системы.

В задачу проектирования СОИУ может входить также разработка новых принципов построения МПВК, МВК с параллельной обработкой информации и структурный синтез основных компонентов таких комплексов. В связи с этим возникает задача определения рационального соотношения различных видов параллелизма при реализации конкретных частных алгоритмов:

- *глобального параллелизма*, заключающегося в одновременном выполнении в каждый момент времени максимально возможного (или необходимого) количества независимых операций одного или нескольких одновременно реализуемых алгоритмов;



Рис. 2. Классы вычислительных средств управляющих комплексов реального времени

- *локального параллелизма*, заключающегося в увеличении (в интересах сокращения времени выполнения операций) количества одновременно обрабатываемых разрядов кодов операндов при переходе от представления чисел обычными однорядными кодами (кодowymi матрицами);

- *конвейерной обработки*, состоящей в частичном совмещении временных интервалов различных этапов выполнения одного или нескольких алгоритмов или их частей.

Проектирование СОИУ включает решение задач анализа и синтеза. Задача анализа сводится в большинстве случаев к определению возможности

реализации комплекса алгоритмов в реальном масштабе времени с помощью априорно заданных вычислительных средств, образующих систему обработки информации и управления. Задача синтеза имеет следующие основные формулировки:

частная задача — обосновать необходимый количественный состав априорно выбранных типов вычислительных средств, при котором обеспечивается реализация комплекса алгоритмов при заданных системных ограничениях;

общая задача - обосновать оптимальный состав типов вычислительных средств, количество вычислительных средств различных типов, определить их структурные характеристики и синтезировать структуру, обеспечивающие реализацию комплекса алгоритмов при достижении максимального значения показателя эффективности ИАСУ.

Введем количественные параметры, необходимые для формализации постановки задач анализа и синтеза СОИУ:

δ^μ – тип реализации частного алгоритма P^μ , входящего в КА $P = \{P^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$ системы: $\delta^\mu = 0$ при программно-управляемой реализации алгоритма P^μ , $\delta^\mu = 1$ при аппаратной реализации с помощью спецпроцессора;

ω^μ – вариант построения программно-управляемых средств, обеспечивающих (при $\delta^\mu = 0$) реализацию P^μ : $\omega^\mu = 0$, при реализации P^μ с помощью МПВК, $\omega = 1$ при выполнении ЧА P^μ с помощью МВК;

H^μ – степень глобального параллелизма реализации ЧА P^μ , т. е. ширина глобально-параллельного представления алгоритма P^μ ;

K^μ – степень локального параллелизма алгоритма P^μ , определяющая количество одновременно обрабатываемых разрядов операндов при выполнении операций ($K^\mu = \dots 3m; 2m; m; 0,5m; \dots; 1$) где m – разрядность операндов;

ξ^μ – класс программно-управляемого средства реализующего алгоритм P^μ : $\xi^\mu = 1$ при использовании средств класса ОКОД (т. е. однопроцессорной ЭВМ), $\xi^\mu = 2$ при использовании среднего класса ОДМД, $\xi^\mu = 3$ при использовании средств класса МКМД;

π^μ – тип программного управления вычислительным средством, реализующим алгоритм P^μ : $\pi^\mu = 1$ при управлении на основе микропрограмм, $\pi^\mu = 2$ при управлении на основе традиционных последовательных программ, $\pi^\mu = 3$ при управлении на основе параллельных программ.

Назовем вектор $C^\mu = (\delta^\mu, \omega^\mu, H^\mu, K^\mu, \xi^\mu, \pi^\mu)$ структурным вектором ЧА $P^\mu \in P$, а множество $C = \{C^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$ – множество структурных векторов КА.

Определим аппаратную параметризацию множества алгоритмов как постановку во взаимно-однозначное (или однозначное) соответствие множеству $P = \{P^\mu\}$ аппаратно-параметризующего множества $R = \{r^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$, где r^μ – номер вычислительного средства, реализующего алгоритм P^μ .

Будем задавать тип вычислительного средства вектором $C_S = (\delta_S, \omega_S, \xi_S, \pi_S)$, где S – номер средства и компоненты $\delta_S, \omega_S, \xi_S, \pi_S$ имеют аналогичный смысл, что и компоненты вектора ЧА C^μ ЧА P^μ .

С формальной точки зрения выполнение комплекса алгоритмов системой обработки информации и управления можно трактовать как удовлетворение определенного числа заявок на обслуживание объектов различных типов путем реализации соответствующих групп частных алгоритмов.

Обозначим через θ_0 множество различных типов объектов, обслуживаемых системой, или различных типов заявок на обслуживание объектов соответствующих типов, через $N(\theta)$ – число заявок типа θ , имеющихся в системе на некотором интервале функционирования СОИУ, через $d(\theta)$ – приоритет заявки (объекта) типа θ . Это позволяет определить показатель качества реализации комплекса алгоритмов с помощью СОИУ следующим образом:

$$K_{КА} = \frac{\sum_{\theta \in \theta_0} d(\theta) \sum_{v=1}^{N(\theta)} \alpha_v^\theta}{\sum_{\theta \in \theta_0} d(\theta) N(\theta)},$$

где $\alpha_v^\theta = \begin{cases} 0, & \text{при неудовлетворении заявки с номером } v, \\ 1, & \text{при удовлетворении заявки с номером } v. \end{cases}$

Введенные понятия позволяют следующим образом сформулировать задачу анализа и задачи синтеза структуры СОИУ.

Задача анализа.

Заданы:

а) множество $P = \{P^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$ алгоритмов, образующих комплекс алгоритмов системы; б) аппаратно-параметрическое множество $R = \{r^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$; в) множество $C = \{C^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$ структурных векторов

алгоритмов $P^\mu \in P$; г) характеристики структуры вычислительных средств различных типов, используемых в системе; д) системные требования: количество заявок каждого типа в системе на заданном интервале времени, приоритетность заявок, требуемое время их удовлетворения и т.п.; е) требуемое значение показателя качества реализации КА $K_{\text{зад}}$.

Требуется: проверить выполнение соотношения $K_{\text{КА}} \geq K_{\text{зад}}$.

Задачи синтеза.

Первая задача.

Заданы:

а) множество $P = \{P^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$ частных алгоритмов, образующих КА системы; б) системные требования к реализации КА; в) множество $C = \{C_S\}$, $s \in S$ типов вычислительных средств, априорно выбранных для применения в системе; г) характеристики структуры выбранных типов вычислительных средств; д) значение $K_{\text{зад}}$; е) стоимость $C(s)$ вычислительного средства конкретного типа s .

Требуется: а) определить количество N_S вычислительных средств ($s \in S$) в системе; б) сформировать множество $R = \{r^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$, считая известным множество $C = \{C^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$, структурных векторов алгоритмов.

Найденные значения характеристик структуры СОИУ должны обеспечивать выполнение условия $K_{\text{КА}} \geq K_{\text{зад}}$ при минимальной суммарной стоимости вычислительных средств системы.

Вторая задача.

Заданы:

а) множество $P = \{P^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$ частных алгоритмов, образующих КА системы; б) системные требования; в) значение $K_{\text{зад}}$; г) стоимость компонентов вычислительной техники.

Требуется

а) сформировать множество структурных векторов $C = \{C^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$ алгоритмов; б) сформировать аппаратно-параметризирующее множество $R = \{r^\mu\}$, $\mu = \overline{1, n_A}$; в) сформировать множество типов вычислительных средств, подлежащих использованию в ИАСУ $C = \{C_S\} = \{(\delta_s, \omega_s, \xi_s, \pi_s)\}$, ($s \in S$); г) определить значения основных структурных характеристик вычислительных средств, применяемых в системе; д) определить количество N_S вычислительных средств каждого типа, необходимых для построения СОИУ; е) синтезировать структуру аппаратно-управляемых средств (специализированных процессоров).

Решение задач пп. а-е должно быть выполнено таким образом, чтобы выполнение условия $K_{\text{КА}} \geq K_{\text{зад}}$ обеспечивалось при минимальной стоимости вычислительных средств.

Вывод. Возможность автоматизированного синтеза СОИУ достигается лишь в случае разработки адекватного математического аппарата, позволяющего описывать работу устройств обработки данных и формализовать процессы структурного (логического) проектирования отдельных устройств и системы в целом.

Список литературы: 1. Михайлов К. М., Косошко В. С. Методологические аспекты построения информационной структуры автоматизированной системы управления // Вестн. Херсон. нац. техн. ун-та. – 2002. – 1(14). – С. 216-221. 2. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: МИР, 1973. – 344 с. 3. Советов Б. Я., Яковлев С. А. Моделирование систем. – М.: Высшая школа. 1998. – 319 с. 4. Лавинский Г. В. Построение и функционирование сложных систем управления: Учебное пособие. – К.: Вища школа. Головное издательство, 1989. – 336 с. 5. Гома Хассан UML. Проектирование систем реального времени, распределенных и параллельных приложений: Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2002. – 698 с.

Поступила в редколлегию 10.12.08

УДК 681.518

Н. А. МАРЧЕНКО, канд. техн. наук, доцент НТУ «ХПИ»,
В. В. САМАРСКИЙ, студент НТУ «ХПИ»

РАЗРАБОТКА РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССОВ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ

В статті розглядається концепція, узагальнена архітектура та основні етапи розробки розподіленої системи для автоматизації процесів подання даних. Розглянуті основні можливості та завдання даної системи.

В статье рассматривается концепция, обобщенная архитектура и основные этапы разработки распределенной системы для автоматизации процессов представления данных. Описаны основные возможности и задачи данной системы.

This article discusses the concept, architecture and the main stages of the development of distributed systems to automate the processes of data visualization, main opportunities and challenges of the system.

Введение. К настоящему времени во многих организациях в Украине и других странах накоплены огромные объемы бизнес-информации о клиентах, поставщиках, партнерах, результатах финансовой деятельности и проч. Без этой информации не возможна деятельность организаций. Системы Business Intelligence наряду с хранилищами данных и приложениями бизнес-аналитики

представляют собой инструментарий, который позволяет извлечь максимум информации из имеющихся первичных данных, выявить скрытые закономерности и тренды, построить прогностические модели, т.е. в конечном счете, превратить имеющиеся у компании данные в источник дополнительной прибыли [1,2]. В свою очередь, разработка Business Intelligence систем довольно ресурсоемкий, дорогой и долгий по времени процесс.

Постановка задачи. В данной статье поставлена задача описания методики упрощения и автоматизации процесса разработки Business Intelligence систем при минимальном вмешательстве пользователя.

Описание структуры и технологий реализации. Обобщенная схема работы системы, которая бы автоматизировала процессы представления данных, видна на рис 1. При такой схеме пользователь только подготавливает данные и выполняет конфигурирование системы, т.е. управляет требованиями к своему проекту (указывает необходимые ему измерение, метрики, калькуляции), а вся программная часть выполняется автоматически.

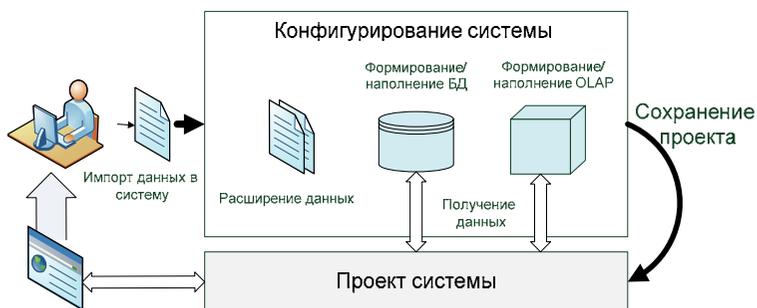


Рис. 1. Общая схема работы системы

Реализация системы представления данных в рамках поставленной задачи выполнена с помощью трехуровневой архитектуры (см. рис. 2).



Рис. 2. Трехуровневая архитектура Business Intelligence проекта

Идеальными программными продуктами, на базе которых был реализован конечный продукт, являются Microsoft SQL Server и платформа .NET [1,3]. СУБД Microsoft SQL Server позволила реализовать обработку и хранение данных, а при помощи технологии .NET были разработаны модуль настройки и пользовательский интерфейс.

В рамках трехуровневой архитектуры реализации системы было выполнено:

- модуль импорта данных с поддержкой различных источников, таких как текстовые файлы, файлы Microsoft Office Excel и таблицы/представления внешних баз данных;
- реляционное хранилище с гибкой и расширяемой архитектурой, позволяющей избежать жесткой привязки к источнику и виду данных;
- модуль автоматической сборки многомерной базы данных, согласно требованиям пользователя и его действиям;
- универсальный пользовательский интерфейс, реализующий три уровня доступа к данным: графический (всевозможные графики), обобщенный (данные сгруппированы согласно имеющимся измерениям, пользователь имеет возможность анализировать зависимости, тенденции и т.д.), детальный уровень – самый низкий уровень, на котором можно увидеть данные, пришедшие на вход вместе с расширенными калькуляциями.

Проектирование хранилища данных. Наибольший интерес с точки зрения реализации вызывает хранилище данных (реляционное хранилище данных и многомерная база данных). Ниже представлен подход к архитектуре хранилищ данных, известный как хранилище с архитектурой шины или подход Ральфа Кимболла (см. рис. 3).

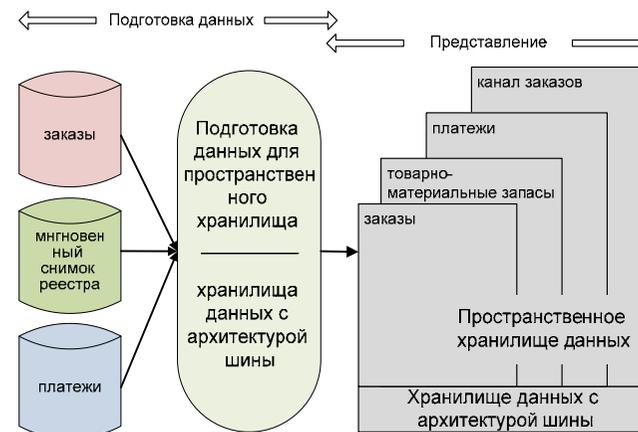


Рис. 3. Пространственное хранилище данных

В этой модели первичные данные преобразуются в информацию, пригодную для использования, на этапе подготовки данных. При этом обязательно принимаются во внимание требования к скорости обработки информации и качеству данных. Ряд операций совершается централизованно, например, поддержание и хранение общих справочных данных, другие действия могут быть распределенными.

Область представления пространственно структурирована, при этом она может быть централизованной или распределенной. Пространственная модель хранилища данных содержит ту же атомарную информацию, что и нормализованная модель (подход Билла Инмона), но информация структурирована по-другому, чтобы облегчить ее использование и выполнение запросов. Эта модель включает как атомарные данные, так и обобщающую информацию (агрегаты в связанных таблицах или многомерных кубах) в соответствии с требованиями производительности или пространственного распределения данных. Запросы в процессе выполнения обращаются к все более низкому уровню детализации без дополнительного перепрограммирования со стороны пользователей или разработчиков приложения.

Типичными чертами подхода Ральфа Кимболла являются [5]:

1. Использование пространственной модели организации данных с архитектурой «звезда» (star scheme).
2. Хранилище данных с архитектурой шины обладает следующими характеристиками:
 - оно пространственное;
 - оно включает витрины данных, посвященные только одной предметной области или имеющие только одну таблицу фактов (fact table);
 - оно может содержать множество витрин данных в пределах одной базы данных.
3. Хранилище данных не является единым физическим репозиторием (в отличие от подхода Билла Инмона). Это «виртуальное» хранилище. Это коллекция витрин данных, каждая из которых имеет архитектуру типа «звезда».

Кроме того, логическую структуру реляционной базы данных можно представить как совокупность подмножеств объектов, обобщенных по их назначению или функциям, которые они выполняют (см. рис. 4).

Объекты, обеспечивающие работу модуля конфигурирования – набор процедур и таблиц, которые участвуют исключительно в построении системы.

Объекты ETL процесса – набор процедур, таблиц, представлений, функций, которые представляют собой последовательный процесс загрузки данных в систему, наполнения справочников, расстановку ключей в таблицах фактов и т. д.



Рис. 4. Обобщенная логическая схема базы данных

К дополнительным функциям для расширения данных относятся специальные процедуры и функции, которые позволяют создавать вычисляемые поля (калькуляции) на основе имеющихся данных. Сюда можно отнести функцию нечеткого сравнения строк, основанную на методах Левенштейна и Хэмминга (при равной длине двух строк).

Расстоянием Левенштейна $d(u, v)$ между строками u и v называется наименьшее количество операций редактирования, необходимое, чтобы перевести u в v . Из соображений обратимости операций редактирования, имеем $d(v, u) = d(u, v)$. В общем виде расстояние Хэмминга d_H для объектов u и v размерности p задается функцией [4]:

$$d_H(X_i, X_j) = \sum_{s=1}^p |x_i^{(s)} - x_j^{(s)}|. \quad (1)$$

Данная функция может быть полезна для устранения ошибок ввода человеком информации в базу данных или для сравнения адресов/терминов/названий, написание которых может в какой-то мере отличаться, но передавать единый смысл.

Выводы. Таким образом, разработанная система в состоянии дать ее пользователю возможность быстрого создания несложной Business Intelligence системы без привлечения сторонних специалистов, при помощи которой становится возможным представить большой массив данных в ином, более понятном и наглядном виде, увидеть тенденции и скрытые закономерности в них. Также данное решение позволит подсказать, нужно ли в дальнейшем разрабатывать полноценную подобную систему.

Список литературы: 1. Brian Larson. Delivering Business Intelligence with Microsoft SQL Server 2005. McGraw-Hill/Osborne, 2006. – 792 с. 2. Троелсен Э. Язык программирования C# 2005 и платформа .NET 2.0. 3-е издание. – Пер с англ. М. ООО “И.Д. Вильямс”, 2007. – 1168 с. 3. Robert Wrembel, Christian Koncilia. Data Warehouses and OLAP: Concepts, Architectures and

Solutions. Idea Group Inc, 2006. – 332 с. 4. *Richard W. Hamming*. Error-detecting and error-correcting codes, Bell System Technical Journal 29(2):147-160, 1950. 5. *Ralph Kimball; Margy Ross*. The Data Warehouse Toolkit: The Complete Guide to Dimensional Modeling (Second Edition ed.). New York: Wiley, 2002. – 464 с. 6. *W. H. Inmon*. Building the Data Warehouse (Fourth Edition). New York: Wiley, 2005. – 543 с.

Поступила в редколлегию 12.01.09

УДК 681.5.03.033

А. А. КОВАЛЬЧУК, канд. техн. наук,
І. І. САЧУК, канд. техн. наук, ст. наук. співроб.,
А. А. СОСУНОВ, канд. техн. наук, доцент

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ПОКАЗАТЕЛЯ КАЧЕСТВА ПОДСИСТЕМ АВТОСОПРОВОЖДЕНИЯ ПО РАДИАЛЬНОЙ СКОРОСТИ, ДАЛЬНОСТИ И УГЛОВОЙ КООРДИНАТЕ МНОГОКАНАЛЬНОЙ РЛС

В статті наведені постановка задачі та результати аналізу перепускної здатності підсистем автосопроводження по радіальній швидкості, дальності та кутовій координаті. Показано, що для практично реалізуємих значень відношення сигнал/шум перепускна здатність багатofункціональної радіолокаційної станції з фазованою антенною решіткою обмежується можливостями підсистеми супроводження за радіальною швидкістю.

В статье приведены постановка задачи и результаты анализа пропускной способности подсистем автосопроводения по радиальной скорости, дальности и угловой координате. Показано, что для практически реализуемых значений отношения сигнал/шум пропускная способность многофункциональной радиолокационной станции с фазированной антенной решеткой ограничивается возможностями подсистемы сопровождения по радиальной скорости.

The problem of analyzing the throughput of the tracking subsystem by radial velocity, range, and angular coordinates is set and results of its solving are presented in the paper. It is shown that for practically achievable signal to noise ratios the throughput of multifunction radar with phase antenna array is restricted by the capabilities of subsystem for tracking by radial velocity.

Введение. Многоканальные РЛС с фазированной антенной решеткой (МК РЛС с ФАР) представляют собой сложные технические устройства, решающие разнообразные задачи по поиску, сопровождению и оцениванию координат воздушных объектов (ВО). В настоящее время такие РЛС широко используются в радиолокационных комплексах благодаря ряду своих преимуществ, в том числе многоканальности за счет временного разделения каналов. В МК РЛС с ФАР при сопровождении определенного ВО последовательные моменты измерения его координат разделяются интервалами времени длительностью T .

Постановка задачи. В режиме сопровождения одним из показателей качества функционирования МК РЛС с ФАР может быть принята пропускная способность. В работах [1, 2] управление длительностью T интервала времени между радиоконтактами используется для оптимизации пропускной способности. В таких МК РЛС с ФАР, как правило, используются системы раздельного автосопровождения [3]. При использовании квазинепрерывного сигнала это системы автосопровождения по угловым координатам, дальности и радиальной скорости. При этом, несмотря на раздельный характер сопровождения, функционирование следящих систем зависит друг от друга.

Параметры каждой из вышеуказанных следящих систем автосопровождения влияют на пропускную способность (один из показателей качества) МК РЛС с ФАР. Исследование такого влияния позволит определить наиболее критичную систему автосопровождения, совершенствование которой обеспечит наибольший прирост показателя качества, или (при обратной постановке задачи) сформулировать требования к характеристикам следящих систем.

В работах [4, 5] проведено исследование для системы автосопровождения по радиальной скорости и дальности. В данной статье будет проведен сравнительный анализ всех следящих систем – систем автосопровождения по радиальной скорости, дальности и угловой координате.

Целью данной статьи является сравнительная оценка потенциальной пропускной способности МК РЛС с ФАР для подсистем автосопровождения по радиальной скорости, дальности и угловой координате при различных отношениях сигнал/шум на основе постановки задачи оптимизации, изложенной в [2], с использованием эквивалентных статистических характеристик частотного, временного и углового дискриминаторов из работы [6].

В качестве базовой модели задачи оптимизации примем двухфазную модель массового обслуживания с использованием эквивалентных статистических характеристик частотного, временного и углового дискриминаторов, описанную в работах [2, 4, 7]. При использовании эквивалентных статистических характеристик дискриминаторов (рис. 1) в работе [6] предложен показатель качества радиотехнической следящей системы – вероятность устойчивого сопровождения p_n . Этот показатель представляет собой вероятность нахождения ошибки сопровождения к следующему радиоконтакту с ВО в пределах апертуры эквивалентной характеристики дискриминатора.

Для стохастической модели движения [8] ВО при адекватности принятой модели движения ВО его реальному движению (при отсутствии систематической ошибки) вероятность устойчивого сопровождения может быть рассчитана в соответствии с выражением [6]

$$p_n = \Phi\left(\frac{L_x}{2\sqrt{2}\sigma_\epsilon}\right), \quad (1)$$

где $\Phi(\cdot)$ – функция Лапласа;

L_x – ширина апертюры эквивалентной дискриминационной характеристики дискриминатора;

$\sigma_e^2 = D_e$ – дисперсия ошибки экстраполяции координаты ВО.

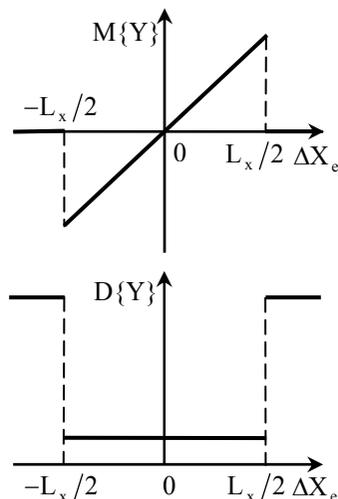


Рис. 1. Эквивалентные дискриминационная и флюктуационная характеристики дискриминатора

Показатель p_n при отсутствии систематической ошибки является функцией длительности интервала времени T между радиоконтактами и отношения сигнал/шум q и неявным образом входит в функционал пропускной способности R [2]

$$R = F(L_{t_{ny}}, L_{t_{nz}}, L_{t_{cp}}, L_{t_{con}}, T, T_1, q), \quad (2)$$

где $L_{t_{ny}}$ – функция распределения длительности интервалов времени t_{ny} между целеуказаниями;

$L_{t_{nz}}$ – функция распределения длительности интервалов времени t_{nz} поиска и захвата ВО на сопровождение;

$L_{t_{cp}}$ – функция распределения длительности интервалов времени t_{cp} до срыва сопровождения ВО;

$L_{t_{con}}$ – функция распределения длительности интервалов времени t_{con} сопровождения ВО;

T_1 – длительность интервала времени радиоконтакта с ВО.

С помощью указанного показателя можно оценить только потенциальную (максимально достижимую) пропускную способность.

В работе [2] проведен анализ возможных путей решения задачи оптимизации и показано, что решение этой задачи в общем случае связано с большими трудностями.

Самый простой случай соответствует показательным законам распределения интервалов времени между выдачей целеуказания, поиска и захвата, сопровождения и до срыва сопровождения.

В этом случае двухфазная модель массового обслуживания является марковской с дискретным пространством состояний. По графу переходов между состояниями легко выписывается система дифференциальных уравнений для вероятностей состояний S_{ij} (i – количество воздушных объектов на этапе поиска и захвата, j – количество воздушных объектов на этапе сопровождения) [7]. При этом показатель R может быть рассчитан через финальные вероятности состояний и решение задачи может быть получено путем относительно несложных вычислений [5, 9]

$$R = \frac{\mu_2}{\lambda} \left(\sum_{j=1}^{k-1} j(P_{0j} + P_{1j}) + kP_{0k} \right) = \frac{\bar{t}_{ny}}{\bar{t}_{con}} \left(\sum_{j=1}^{k-1} j(P_{0j} + P_{1j}) + kP_{0k} \right), \quad (3)$$

где P_{ij} – финальные вероятности состояний S_{ij} ;

μ_2 – интенсивность сопровождения;

λ – интенсивность потока целеуказаний;

\bar{t}_{ny} – средняя длительность интервала времени между целеуказаниями;

\bar{t}_{con} – средняя длительность интервала времени сопровождения ВО.

Воспользуемся этой же моделью в данной статье и поясним технологию получения зависимостей, приведенных на рис. 2.

Достаточно сложной задачей, требующей проведения объемного статистического исследования, является получение зависимости показателя p_n от длительности интервала времени T между радиоконтактами для различных отношений сигнал/шум q .

Для конкретных частотного, временного и углового дискриминаторов указанная работа уже проделана. Для вероятности устойчивого сопровождения p_n будем использовать результаты работы [6], в которой приведены зависимости показателя p_n от длительности интервала времени T между радиоконтактами для нескольких отношений сигнал/шум q , полученные при использовании эквивалентных статистических характеристик частотного, временного и углового дискриминаторов.

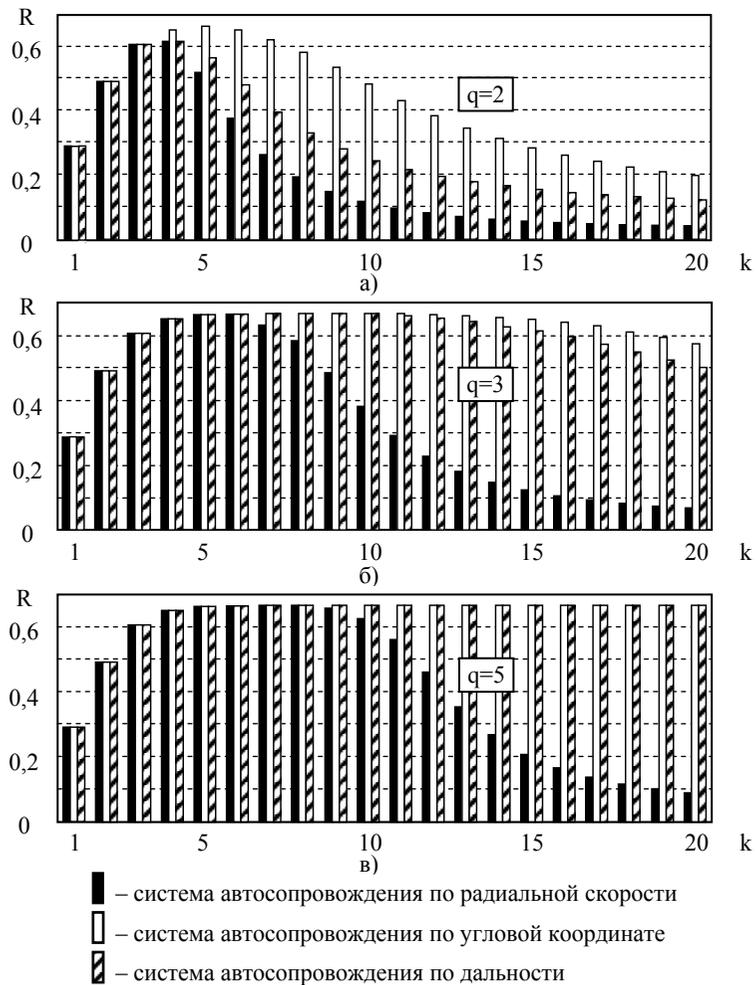


Рис. 2. Зависимость функционала пропускной способности от количества каналов

Для получения численных оценок и сопоставимости результатов данной статьи и работ [4, 5] примем исходные данные, как и в работах [4, 5]: средняя длительность интервалов времени между целеуказаниями $\bar{t}_{ц\bar{y}} = 20$ с, средняя длительность интервалов времени поиска и захвата $\bar{t}_{пз} = 10$ с, средняя длительность интервалов времени сопровождения $\bar{t}_{соп} = 40$ с, средняя длительность интервалов времени до срыва сопровождения

$\bar{t}_{ср} = 0,017k / (1 - p_n(0,017k))$, где k – количество каналов сопровождения (второй фазы), для отношений сигнал/шум $q = 2, 3, 5$.

Выводы. Анализ полученных для типовых условий результатов (рис. 2) позволяет сделать следующие выводы.

Максимум пропускной способности МК РЛС с ФАР при типовых для практики отношениях сигнал/шум $q \geq 3$ слабо зависит от количества каналов сопровождения по дальности и угловой координате, но сильно зависит от количества каналов сопровождения по радиальной скорости.

Системы автосопровождения по радиальной скорости, дальности и угловой координате могут обеспечивать максимум пропускной способности приблизительно при одинаковом количестве каналов сопровождения каждой системы.

Потенциальные возможности всех следящих систем при отношениях сигнал/шум $q \geq 5$ ограничиваются одноканальностью захвата.

Указанные результаты получены при допущении о независимости среднего времени поиска и захвата $\bar{t}_{пз}$ воздушного объекта от количества свободных каналов сопровождения. Проверка обоснованности такого допущения требует отдельного исследования.

Список литературы: 1. Самойленко В. И., Шишов Ю. А. Управление фазированными антенными решетками. – М.: Радио и связь, 1983. – 240 с. 2. Ковальчук А. А., Парфенов Ю. Э., Сосунов А. А., Хисматулин В. Ш. Постановка задачи оптимизации пропускной способности многоканальной РЛС с фазированной антенной решеткой путем управления длительностью интервала времени между радиоконтактами // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ, 2004. – Выпуск 1. – С. 76-83. 3. Максимов М. В., Меркулов В. И. Радиоэлектронные следящие системы. – М.: Радио и связь, 1990. – 256 с. 4. Ковальчук А. А., Сачук И. И., Сосунов А. А. Оценка потенциальной пропускной способности многоканальной РЛС с фазированной антенной решеткой для подсистемы автосопровождения по дальности // Системы обработки информации. – Х.: ХУ ПС, 2005. – Выпуск 2. – С. 48-52. 5. Ковальчук А. А., Сосунов А. А., Хисматулин В. Ш. Оценка влияния отношения сигнал/шум на пропускную способность многоканальной РЛС с фазированной антенной решеткой при использовании квазинепрерывного сигнала // Системы обработки информации. – Х.: ХВУ, 2004, Выпуск 4. – с. 94-99. 6. Хисматулин В. Ш., Сачук И. И., Ковальчук А. А. Оценка вероятности надежного сопровождения аэродинамических целей многоканальной радиолокационной станцией // Авиационно-космическая техника и технология. Х.: Государственный аэрокосмический университет им. Н.Е. Жуковского "ХАИ", 2001. – Выпуск 22. – С. 259-262. 7. Кулинич И. А., Парфенов Ю. Э., Сосунов А. А. Модель для обоснования требований к показателю качества радиотехнической следящей системы // Системы обработки информации. Х.: ХВУ, 2003. – Выпуск 5. – С. 145-150. 8. Зингер Р. А. Оценка характеристик оптимального фильтра для слежения за пилотируемой целью // Зарубежная радиоэлектроника. – 1971. – №8, – с. 40-57. 9. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения. – М.: Наука, 1991. – 384 с.

Поступила в редколлегию 10.09.07

СЕЙЕД МОДЖАБА ДЖАФАРИ ХЕНДЖАНИ, аспирант НТУ «ХПИ»,
В. П. СЕВЕРИН, д-р техн. наук, профессор «ХПИ»

ПРИМЕРЫ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОГО СИНТЕЗА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ПУТЕМ МИНИМИЗАЦИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ КВАДРАТИЧНЫХ ОЦЕНОК

У статті розглядаються приклади розв'язання задач багатокритеріального параметричного синтезу для систем автоматичного керування другого і третього порядків на основі мінімізації приватних і покращених інтегральних квадратичних критеріїв.

В статье рассматриваются примеры решения задач многокритериального параметрического синтеза для систем автоматического управления второго и третьего порядков на основе минимизации частных и улучшенных интегральных квадратичных критериев.

The tasks decision examples of multicriterion parameter synthesis are examined in the article for the automatic control systems of the second and third orders on the basis of private and improved integral quadratic criteria minimization.

Введение. Одной из основных задач разработки и развития систем автоматического управления (САУ) является задача многокритериального параметрического синтеза. Особенностью этой задачи является сложность определения прямых показателей качества (ППК) систем как функций их переменных параметров [1–3]. Для параметрического синтеза систем управления часто применяются интегральные квадратичные оценки (ИКО), которые вычисляются проще по значениям параметров систем и косвенно характеризуют качество протекания в них переходных процессов [1–4]. Использование различных ИКО приводит к задачам многокритериальной оптимизации систем [5], которые требуют аналитического исследования для выработки практических рекомендаций. В связи с этим возникает необходимость в исследовании примеров синтеза систем управления, основанных на оптимизации интегральных квадратичных оценок.

Цель статьи состоит в рассмотрении примеров параметрического синтеза систем автоматического управления на основе минимизации интегральных квадратичных оценок и исследовании принципов многокритериального формирования улучшенных интегральных квадратичных оценок.

Общая постановка задачи многокритериального синтеза. При оценке эффективности САУ рассматривается самый неблагоприятный случай для системы, когда цель управления меняется мгновенно. Такое изменение можно представить ступенчатой функцией. Качество работы системы оценивается по переходному процессу в ее новое состояние. Задача параметрического синтеза САУ сводится к выбору значения вектора ее переменных параметров $x \in R^p$, обеспечивающего наилучшее качество системы, которое часто

определяют по переходной характеристике $y(x, t)$. При этом важнейшими ППК являются перерегулирование $\sigma(x)$, показатели колебательности — размах колебаний $\zeta(x)$ и затухание $\lambda(x)$, время регулирования $t_c(x)$ [1–3]. Эти показатели определены только в области устойчивости САУ. Первые три показателя не должны превышать предельных значений σ_m , ζ_m , λ_m , которые обычно заданы заранее: $\sigma_m = 0,05$, $\zeta_m = 0,065$, $\lambda_m = 0,3$ [1, 2]. При этом время регулирования, определяемое при значении параметра зоны установившегося состояния $\delta_y = 0,05$ и характеризующее быстродействие системы, должно быть минимальным.

Таким образом, показатели $\sigma(x)$, $\zeta(x)$, $\lambda(x)$ и $t_c(x)$ являются частными прямыми критериями общей задачи многокритериального параметрического синтеза САУ, представимой в виде задачи условной оптимизации:

$$\sigma(x) \leq 0,05, \quad \zeta(x) \leq 0,065, \quad \lambda(x) \leq 0,3, \quad \min t_c(x). \quad (1)$$

Рассмотрим применение ИКО для решения этой задачи.

Частные интегральные квадратичные критерии. Пусть $y(x, t)$ — масштабированная переходная функция САУ: $y(x, 0) = 0$, $y(x, \infty) = 1$. По ее отклонению $z(x, t) = y(x, \infty) - y(x, t)$ формируется ИКО отклонения

$$J_0(x) = \int_0^{\infty} [z(x, t)]^2 dt. \quad (2)$$

Минимизация этой оценки приводит к переходным процессам с большими значениями перерегулирования и показателей колебательности [1–3], которые можно уменьшить снижением скорости изменения отклонения в начале процесса путем использования ИКО производных отклонения:

$$J_k(x) = \int_0^{\infty} \left[\frac{\partial^k z(x, t)}{\partial t^k} \right]^2 dt. \quad (3)$$

Рассмотрим примеры параметрического синтеза различных систем с применением оценок (2) и (3). Пусть система второго порядка с одним переменным параметром x задана передаточной функцией

$$W(s) = 1/(s^2 + xs + 1). \quad (4)$$

Оценки отклонения (2) и его первой производной (3) имеют вид [1–4]:

$$J_0(x) = 0,5(x + 1/x), \quad J_1(x) = 0,5/x. \quad (5)$$

Приравнивая нулю производную функции $J_0(x)$, при условии устойчивости САУ $x > 0$ получим минимум: $x^* = 1$, $J_0^* = 1$. ИКО для производной отклонения $J_1(x)$ в области устойчивости является убывающей функцией. В ограниченной области $x \in (0; 5]$ эта функция имеет минимум: $x^* = 5$, $J_1^* = 0,1$. Таким образом, частные критерии (5) являются противоречивыми. Графики этих критериев приведены на рис. 1. Переходные процессы, соответствующие минимальным значениям критериев (5), показаны на рис. 2.

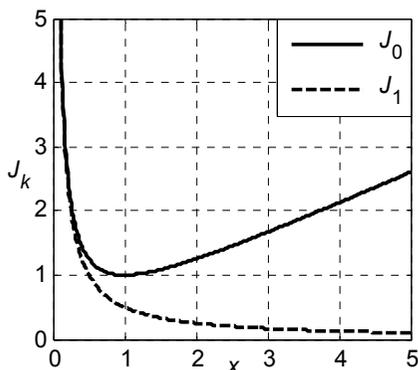


Рис. 1. Графики частных критериев для системы второго порядка

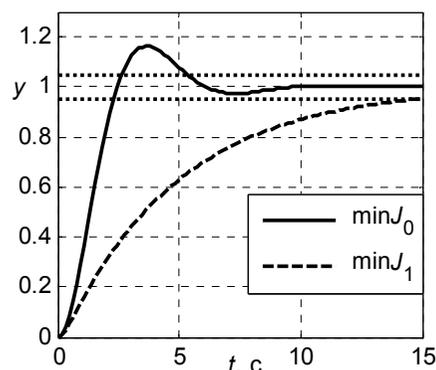


Рис. 2. Графики переходных процессов для системы второго порядка

Минимумы частных ИКО и соответствующие им значения ППК, приведены в табл. 1. При минимуме $J_0(x)$ значения первых двух прямых показателей превышают ограничения неравенств (1). Минимум $J_1(x)$ обнуляет три показателя, время регулирования возрастает в 2,75 раза.

Качество САУ третьего порядка с передаточной функцией

$$W(s) = 1/(s^3 + x_1 s^2 + x_2 s + 1) \quad (6)$$

зависит от значения вектора переменных параметров $x = (x_1, x_2)$.

По критерию Рауса-Гурвица определена область устойчивости этой системы: $x_1 > 0$, $x_2 > 0$, $x_1 x_2 > 1$. Частные ИКО (2) и (3) имеют вид [1–4]:

$$J_0(x) = \frac{1}{2} \left(x_2 + \frac{x_1^2}{x_1 x_2 - 1} \right), \quad J_1(x) = \frac{x_1}{2(x_1 x_2 - 1)}, \quad J_2(x) = \frac{1}{2(x_1 x_2 - 1)}. \quad (7)$$

Функция $J_0(x)$ принимает минимальное значение $J_0^* = 1,5$ при $x^* = (1; 2)$. График этой функции показан на рис. 3. Функции $J_1(x)$ и $J_2(x)$ монотонно убывают в области устойчивости и принимают минимальные значения при $x_1 \leq 5$, $x_2 \leq 5$ в точке $x^* = (5; 5)$: $J_1^* = 5/48$, $J_2^* = 1/48$. На рис. 4 представлены переходные процессы при минимальных значениях частных критериев.

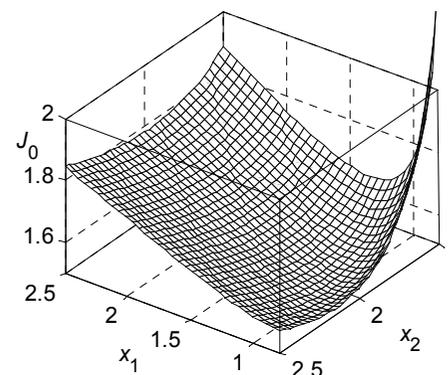


Рис. 3. График ИКО отклонения для системы третьего порядка

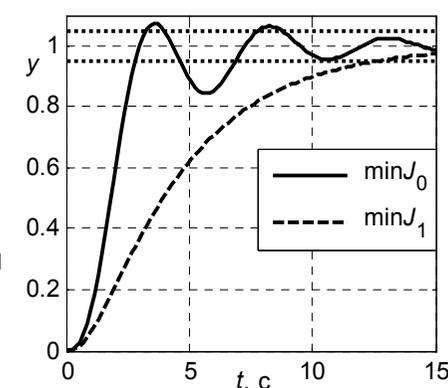


Рис. 4. Графики переходных процессов для системы третьего порядка

Минимумы частных ИКО и соответствующие им значения ППК приведены в табл. 2. Для минимума оценки $J_0(x)$ значения первых трех показателей превышают ограничения неравенств (1). Для минимума оценок $J_1(x)$ и $J_2(x)$ первые три прямых показателя равны нулю, а последний –

Таблица 2
Минимизация частных ИКО САУ третьего порядка

k	x_1^*	x_2^*	J_k^*	σ^*	ζ^*	λ^*	t_c^*, c
0	1	2	1,5	0,073	0,229	2,15	8,73
1	5	5	0,10	0	0	0	12,62
2	5	5	0,02	0	0	0	12,62

время регулирования возрастает в 1,45 раза.

Минимизация ИКО отклонения (2) приводит к сильно колебательным процессам с большим перерегулированием, а минимизация ИКО производных отклонения (3) приводит к медленным переходным процессам с большим значением времени регулирования [1–3]. Таким образом, частные критерии качества САУ (2) и (3) имеют различные минимумы, являются противоречивыми и не позволяют решить общую задачу синтеза (1).

Улучшенные интегральные квадратичные оценки. Решение многокритериальной задачи оптимизации критериев качества (2) и (3) в виде компромисса их применения может быть достигнуто использованием свертки этих критериев и перехода к минимизации улучшенной ИКО [1–3, 5]:

$$J(x) = \sum_{k=0}^l w_k J_k(x), \quad (8)$$

где l – число частных критериев, w_k – весовые коэффициенты свертки. Для передаточной функции (4) по формулам (5) получим улучшенную ИКО (8):

$$J(x) = 0,5[x + (1+w)/x]. \quad (9)$$

В области устойчивости эта функция имеет единственную точку минимума $x^* = \sqrt{1+w}$, $J^* = \sqrt{1+w}$, оптимальную по Парето. Графики критерия (9) для различных значений весового коэффициента w приведены на рис. 5. На рис. 6 показаны переходные процессы, соответствующие минимальным значениям этого критерия при различных значениях w .

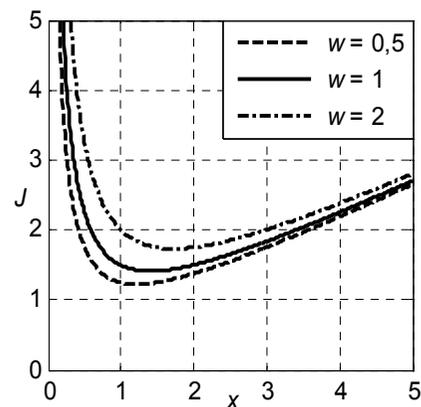


Рис. 5. Графики улучшенной ИКО для системы второго порядка

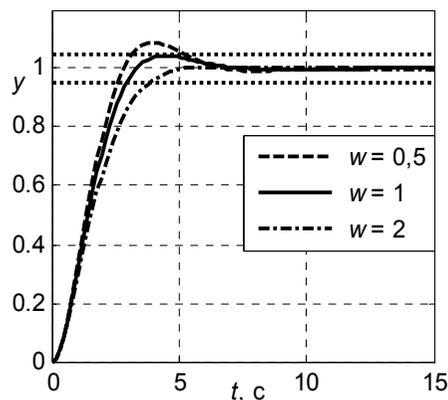


Рис. 6. Графики улучшенных переходных процессов для системы второго порядка

Результаты минимизации улучшенной ИКО (9) со значениями ППК для различных значений w , приведены в табл. 3. По сравнению со значениями прямых показателей по минимуму простой оценки отклонения вида (2), представленных в табл. 1, достигнуто существенное улучшение всех прямых показателей. При этом, чем больше значение w , тем меньше значения перерегулирования и размаха колебаний. Процесс с наилучшими значениями прямых показателей, удовлетворяющими ограничениям (1), получен при значении $w = 1$.

Для системы автоматического управления с передаточной функцией (6) по формулам (7) получим улучшенную интегральную квадратичную оценку (8) в виде функции переменных параметров:

$$J(x) = \frac{1}{2} \left(x_2 + \frac{x_1^2 + w_1 x_1 + w_2}{x_1 x_2 - 1} \right).$$

Приравняв нулю частные производные этой функции, получим систему нелинейных алгебраических уравнений:

$$\begin{cases} x_1^2 x_2 - 2x_1 - w_2 x_2 - w_1 = 0, \\ x_1^2 x_2^2 - 2x_1 x_2 - x_1^3 - w_1 x_1^2 - w_2 x_1 + 1 = 0. \end{cases}$$

Данная система уравнений не позволяет найти аналитическое решение. Таким образом, уже для системы управления третьего порядка решение задачи синтеза усложняется, поскольку возникает задача выбора нескольких весовых коэффициентов, а для определения минимума улучшенной Интегральной квадратичной оценки необходимо применять численные методы.

Выбор весовых коэффициентов улучшенных интегральных оценок. Путем интегральных преобразований улучшенную интегральную квадратичную оценку (8) при $l = 1$ можно представить в виде равенства [1–3]:

$$J(x) = \tau + I(x), \quad (10)$$

где $\tau = \sqrt{w}$, $I(x)$ — модифицированная улучшенная ИКО:

$$I(x) = \int_0^{\infty} \left[z(x, t) + \tau \frac{\partial z(x, t)}{\partial t} \right]^2 dt. \quad (11)$$

Таблица 3

Улучшенная ИКО для САУ второго порядка

w	x^*	J^*	σ^*	ζ^*	λ^*	t_c^* , с
0,5	1,22	1,22	0,878	0,095	0,089	5,20
1	1,41	1,41	0,043	0,045	0,004	2,93
2	1,73	1,73	0,004	0,004	0,004	3,79

Эта оценка может принять наименьшее равное нулю значение, если

$$z(x, t) + \tau \frac{\partial z(x, t)}{\partial t} = 0.$$

Такое уравнение имеет решение $z_e(t) = e^{-t/\tau}$. Выбирая параметры системы по минимуму улучшенной оценки (11), можно приблизить переходный процесс к заданной экспоненте $y_e(t) = 1 - e^{-t/\tau}$, которая определяется постоянной времени τ и носит в этом случае название экстремали [1–3].

Для системы управления второго порядка с передаточной функцией (4) модифицированная улучшенная оценка (11) имеет вид:

$$I(x) = 0,5[1 + (x - \tau)^2]/x. \quad (12)$$

В области устойчивости системы эта функция имеет единственный минимум $x^* = \sqrt{1 + \tau^2}$, $I^* = \sqrt{1 + \tau^2} - \tau$. Графики критерия (9) при $w = 1$ и критерия (12) при $\tau = 1$ приведены на рис. 7. Эти критерии имеют одну и ту же точку минимума $x^* = \sqrt{2}$, поскольку в соответствии с равенством (10) $J(x) = I(x) + 1$. На рис. 8 показаны графики экстремали $y_e(t)$ и оптимального переходного процесса $y(t)$, соответствующего минимальным значениям критериев (9) и (12). Время регулирования $t_c = 2,93$ с оптимального переходного процесса (см. табл. 3, $w = 1$) и время регулирования $t_e = 3,00$ с экстремали этого процесса $y_e(t)$ близки.

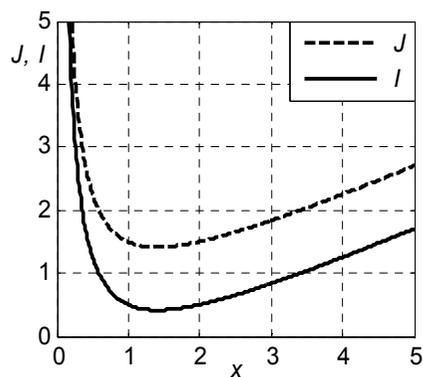


Рис. 7. Графики различных улучшенных ИКО для системы второго порядка

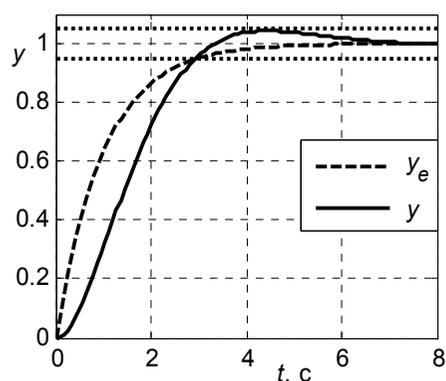


Рис. 8. Графики экстремали и оптимального переходного процесса

Модифицированная улучшенная интегральная квадратичная оценка (12) имеет преимущество перед оценкой (9), поскольку коэффициент τ при производной отклонения в этой оценке является постоянной времени экстремали, определяющей желаемое качество оптимального процесса.

Улучшенной интегральной квадратичной оценке (8) при числе частных критериев $l = 2$ соответствует модифицированная улучшенная оценка [1–3]

$$I(x) = \int_0^{\infty} \left[z(x, t) + \tau_1 \frac{\partial z(x, t)}{\partial t} + \tau_2 \frac{\partial^2 z(x, t)}{\partial t^2} \right]^2 dt,$$

параметры которой τ_1 и τ_2 связаны с весовыми коэффициентами оценки (8) равенствами: $\tau_1^2 - \tau_2 = w_1$, $\tau_2^2 = w_2$. Экстремаль такой оценки определяется дифференциальным уравнением второго порядка.

Выводы. Из проведенных исследований вытекают следующие выводы.

1. Задача многокритериального параметрического синтеза систем автоматического управления представлена в виде задачи условной оптимизации прямых показателей качества.

2. Интегральная квадратичная оценка отклонения управляемой переменной и интегральные квадратичные оценки производных отклонения являются противоречивыми частными критериями. Переходные процессы, протекающие в системах управления и обеспечивающие минимум оценки отклонения, имеют большие значения перерегулирования и колебательности.

3. Улучшенные интегральные квадратичные оценки в виде свертки частных критериев позволяют достигнуть существенного улучшения всех прямых показателей качества. Однако решение задачи синтеза усложняется проблемой выбора весовых коэффициентов улучшенных интегральных квадратичных оценок и необходимостью применения численных методов для их минимизации.

4. Применение модифицированных улучшенных интегральных квадратичных оценок имеет преимущество, так как позволяет связать весовые коэффициенты оценок с параметрами экстремалей, задающих желаемое качество оптимального процесса.

Список литературы: 1. Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования, издание третье, исправленное. – М.: Наука, 1975. – 768 с. 2. Иващенко Н. Н. Автоматическое регулирование. – М.: Машиностроение, 1978. – 736 с. 3. Теория автоматического управления. Ч. 1 / Под ред. А. А. Воронова. – М.: Высшая школа, 1986. – 367 с. 4. Кац А. М. К вопросу о вычислении квадратичного качества регулирования // Прикладная математика и механика. 1952. – Т. XVI. – Вып. 3. – С. 362–364. 5. Брейтон Р. К., Хэттел Г. Д., Санджованни-Винченцелли А. Л. Обзор методов оптимального проектирования интегральных схем // ТИИР. – 1981. – Т. 69. – № 10. – С. 180–215.

Поступила в редколлегию 08.01.09

Е. Н. НИКУЛИНА, канд. техн. наук, мл. научн. сотр. НТУ «ХПИ»

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ
АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ
МОЩНОСТИ РЕАКТОРА**

Приведена структурна схема системи автоматичного регулювання теплової потужності ядерного реактора. Обчислені значення постійних параметрів математичних моделей систем автоматичного регулювання потужності реактора. Розроблені математичні моделі систем автоматичного регулювання теплової потужності з різними регуляторами.

Приведена структурная схема системы автоматического регулирования тепловой мощности ядерного реактора. Вычислены значения постоянных параметров математических моделей систем автоматического регулирования мощности реактора. Разработаны математические модели систем автоматического регулирования тепловой мощности с различными регуляторами.

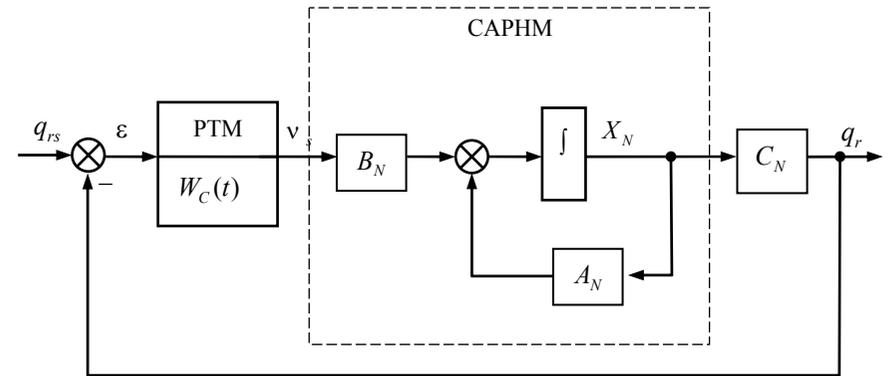
The block diagram of system of automatic control of thermal capacity of a nuclear reactor is resulted. Values of constant parameters of mathematical models of systems of automatic control of capacity of a reactor are calculated. Models of systems of automatic control of thermal capacity are developed with various regulators.

Введение. При проектировании ядерных реакторов ВВЭР-1000 нового поколения и модернизации существующих реакторов особое внимание уделяется улучшению их маневренных характеристик, которые зависят от динамических свойств реактора и его систем автоматического регулирования (САР). Поскольку важнейшей выходной характеристикой реактора является тепловая мощность теплоносителя, актуальна проблема оптимизации законов регулирования тепловой мощности реактора [1].

В САР нейтронной мощности (САРНМ) реактора наиболее эффективен пропорционально-интегральный (ПИ) закон регулирования [2, 3]. Для определения оптимального закона регулирования тепловой мощности необходимы математические модели САР тепловой мощности (САРТМ) реактора с различными регуляторами. Данная статья посвящена разработке таких моделей на основании модели САРНМ.

Постановка задачи. Структурная схема САРТМ (см. рисунок) включает сумматор, регулятор тепловой мощности (РТМ), модель САРНМ и отрицательную обратную связь. На вход системы подается уставка мощности q_{rs} , выходом является координата тепловой мощности q_r . Текущее значение тепловой мощности измеряется датчиком и отрицательной обратной связью подается на сумматор, формируя сигнал ошибки:

$$\varepsilon = q_{rs} - q_r . \tag{1}$$



Структурная схема САРТМ реактора

Ошибка поступает на вход РТМ с передаточной функцией $W_c(t)$, формирующий по заданному закону управляющее воздействие v_s . Это воздействие подается в САРНМ, изменяя тепловую мощность реактора q_r . Требуется разработать модели САРТМ с различными регуляторами.

Решение задачи. Линейную САР нейтронной мощности реактора с ПИ регулятором представим дифференциальным уравнением [2]:

$$\frac{dX_N}{dt} = A_N X_N + B_N v_s , \quad q_r = C_N X_N , \tag{2}$$

$$A_N = \begin{pmatrix} \gamma_n & \gamma_I & \gamma_{II} & \gamma_u & 0 & \gamma_r & \lambda_n & 0 \\ \lambda_I & -\lambda_I & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \lambda_{II} & 0 & -\lambda_{II} & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ b_{un} & 0 & 0 & a_{uu} & a_{uz} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & a_{zu} & a_{zz} & a_{zr} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & a_{rz} & a_{rr} & 0 & 0 \\ -b_{du} K_N & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & a_{dd} & b_{du} \\ -\lambda_N & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} , \quad B_N = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ b_{du} K_N \\ \lambda_N \end{pmatrix} , \tag{3}$$

$$X_N = (v \quad \xi_I \quad \xi_{II} \quad \theta_u \quad \theta_z \quad \theta_r \quad \rho_d \quad u_N)^T ,$$

$$C_N = (0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad k_r \quad 0 \quad 0) , \tag{4}$$

где $\lambda_I, \lambda_{II}, \lambda_n$ — постоянные радиоактивного распада, $\gamma_I = \lambda_n \mu_I, \gamma_{II} = \lambda_n \mu_{II}$; μ_I, μ_{II} — относительные доли двух групп запаздывающих нейтронов; γ_n — коэффициент линеаризации по мощности; $\gamma_u = -\lambda_n \alpha_u, \gamma_r = -\lambda_n \alpha_r$; α_u, α_r — температурные коэффициенты реактивности; $b_{un}, a_{uu}, a_{uz}, a_{zu}, a_{zr}, a_{rz}, a_{rr}$ — коэффициенты матрицы реальных значений реактора, получены на основании теории термодинамики; $a_{dd} = -1/T_d, b_{du} = K_d/T_d$; K_d и T_d — коэффициент усиления и постоянная времени привода; v — относительная координата нейтронной мощности, ξ_I, ξ_{II} — относительные координаты концентраций двух групп запаздывающих нейтронов, $\theta_u, \theta_r, \theta_z$ — относительные координаты температур топлива, теплоносителя, оболочки твэла, ρ_d — составляющая реактивности, u_N, K_N, λ_N — интегральная составляющая и параметры ПИ регулятора САРНМ, k_r — коэффициент перехода от температуры к мощности. Коэффициенты и параметры формул (2)–(4) представлены в таблице.

Значения параметров реактора

Параметр	Значение	Параметр	Значение	Параметр	Значение
β	0,00639	a_{uu}, c^{-1}	-9,47	a_{dd}, c^{-1}	-0,0286
λ_n, c^{-1}	199,7	a_{uz}, c^{-1}	9,00	b_{du}, c^{-1}	0,0112
λ, c^{-1}	0,076	a_{zu}, c^{-1}	33,9	K_D	10
μ_I	0,252	a_{zz}, c^{-1}	-73,4	K_N	50
μ_{II}	0,748	a_{zr}, c^{-1}	39,5	λ_N, c^{-1}	1,054
λ_I, c^{-1}	0,0263	a_{rz}, c^{-1}	3,46	$c_r, Дж \cdot кг^{-1} \cdot ^\circ C^{-1}$	5590
λ_{II}, c^{-1}	0,2880	a_{rr}, c^{-1}	-4,87	$G_r, кг \cdot c^{-1}$	19000
γ_n, c^{-1}	-762,2	b_{un}, c^{-1}	0,467	$t_{r0}, ^\circ C$	311
γ_I, c^{-1}	50,321	γ_u, c^{-1}	-288	k_r	11,01
γ_{II}, c^{-1}	149,366	γ_r, c^{-1}	-3645	$Q_0, МВт$	3000
α_q	-2,82	α_v	4,72	T_d, c	35
α_u	-1,44	α_t	-18,3	K_d	0,391

Рассмотрим различные регуляторы, состоящие из пропорционального (П), интегрального (И) и дифференциального (Д) регуляторов. П регулятор формирует пропорциональный закон управления:

$$u_p = K_p \varepsilon. \quad (5)$$

И, Д регуляторы формируют интегральный и дифференциальный законы:

$$\frac{du_I}{dt} = \lambda_I \varepsilon, \quad (6)$$

$$\frac{dv_D}{dt} = -\lambda_D (v_D + K_D \varepsilon), \quad u_D = v_D + K_D \varepsilon. \quad (7)$$

Здесь $\lambda_I = 1/T_I, \lambda_D = 1/T_D, K_P, K_D, T_I$ и T_D — параметры регуляторов.

Построим математические модели систем регулирования тепловой мощности реактора с различными регуляторами в виде

$$\frac{dX_{Hc}}{dt} = A_{Hc} X_{Hc} + B_{Hc} q_{rs}, \quad q_r = C_{Hc} X_{Hc},$$

где индекс c соответствует типу регулятора.

Модель САР с П регулятором определим на основании (2)–(5) $v_s = u_p$:

$$\frac{dX_N}{dt} = A_N X_N + B_N K_P (q_{rs} - C_N X_N), \quad q_r = C_N X_N. \quad (8)$$

Сгруппировав коэффициенты при переменных, получим:

$$\frac{dX_{Hp}}{dt} = A_{Hp} X_{Hp} + B_{Hp} q_{rs}, \quad q_r = C_{Hp} X_{Hp}, \quad (9)$$

где $X_{Hp} = X_N, A_{Hp} = A_N - K_P B_N C_N, B_{Hp} = K_P B_N, C_{Hp} = C_N$. (10)

Построим системы с И регулятором по (2)–(4), (6), (7) при $v_s = u_I$:

$$\begin{cases} \frac{dX_N}{dt} = A_N X_N + B_N u_I, \\ \frac{du_I}{dt} = \lambda_{II} (q_{rs} - C_N X_N), \end{cases}, \quad q_r = C_N X_N. \quad (11)$$

Объединяя переменные состояние, получим:

$$X_{HI} = (X_N \ u_I)^T, \quad C_{HI} = (C_N \ 0), \quad (12)$$

$$A_{Hi} = \begin{pmatrix} A_N & B_N \\ -\lambda_I C_N & 0 \end{pmatrix}, \quad B_{Hi} = \begin{pmatrix} 0 \\ \lambda_I \end{pmatrix}. \quad (13)$$

Линейную модель САР с Д регулятором получим по уравнениям (2)–(4), (7) при $v_s = u_D$. Он неприменим для данной системы, так как $q_r(\infty) = 0$.

Комбинируя П, И и Д регуляторы, определим другие системы регулирования тепловой мощности реактора. Модель системы с ПИ регулятором построим по (2)–(5), (7), при $v_s = u_P + u_I$:

$$\begin{cases} \frac{dX_N}{dt} = A_N X_N + B_N K_P (q_{rs} - C_N X_N) + B_N u_I, \\ \frac{du_I}{dt} = \lambda_I (q_{rs} - C_N X_N), \end{cases}, \quad q_r = C_N X_N. \quad (14)$$

$$X_{Hpi} = (X_N \quad u_I)^T, \quad C_{Hpi} = (C_N \quad 0), \quad (15)$$

$$A_{Hpi} = \begin{pmatrix} A_N - K_P B_N C_N & B_N \\ -\lambda_I C_N & 0 \end{pmatrix}, \quad B_{Hpi} = \begin{pmatrix} K_P B_N \\ \lambda_I \end{pmatrix}. \quad (16)$$

Систему с ПД регулятором определим по (2)–(5), (7) при $v_s = u_P + u_D$:

$$\begin{cases} \frac{dX_N}{dt} = A_N X_N + B_N v_D + B_N (K_P + K_D)(q_{rs} - C_N X_N), \\ \frac{dv_D}{dt} = -\lambda_D v_D - \lambda_D K_D (q_{rs} - C_N X_N), \end{cases}, \quad q_r = C_N X_N. \quad (17)$$

$$X_{Hpd} = (X_N \quad v_D)^T, \quad C_{Hpd} = (C_N \quad 0), \quad (18)$$

$$A_{Hpd} = \begin{pmatrix} A_N - (K_P + K_D) B_N C_N & B_N \\ \lambda_D K_D C_N & -\lambda_D \end{pmatrix}, \quad B_{Hpd} = \begin{pmatrix} (K_P + K_D) B_N \\ -\lambda_D K_D \end{pmatrix}. \quad (19)$$

ИД регулятор получим по уравнениям (2)–(4), (6), (7), при $v_s = u_I + u_D$:

$$\begin{cases} \frac{dX_N}{dt} = A_N X_N + B_N u_I + B_N v_D + B_N K_D (q_{rs} - C_N X_N), \\ \frac{du_I}{dt} = \lambda_I (q_{rs} - C_N X_N), \\ \frac{dv_{HD}}{dt} = -\lambda_D v_D - \lambda_D K_D (q_{rs} - C_N X_N), \end{cases}, \quad q_r = C_N X_N. \quad (20)$$

$$X_{Hid} = (X_N \quad u_I \quad v_D)^T, \quad C_{Hid} = (C_N \quad 0 \quad 0), \quad (21)$$

$$A_{Hid} = \begin{pmatrix} A_N - K_D B_N C_N & B_N & B_N \\ -\lambda_I C_N & 0 & 0 \\ \lambda_D K_D C_N & 0 & -\lambda_D \end{pmatrix}, \quad B_{Hid} = \begin{pmatrix} K_D B_N \\ \lambda_I \\ -\lambda_D K_D \end{pmatrix}. \quad (22)$$

Математическую модель системы с ПИД регулятором построим по уравнениям (2)–(7) при $v_s = u_P + u_I + u_D$:

$$\begin{cases} \frac{dX_N}{dt} = A_N X_N + B_N [u_I + v_D + (K_P + K_D)(q_{rs} - C_N X_N)], \\ \frac{du_I}{dt} = \lambda_I (q_{rs} - C_N X_N), \\ \frac{dv_D}{dt} = -\lambda_D v_D - \lambda_D K_D (q_{rs} - C_N X_N), \end{cases}, \quad q_r = C_N X_N. \quad (23)$$

$$X_{Hpid} = (X_N \quad u_I \quad v_D)^T, \quad C_{Hpid} = (C_N \quad 0 \quad 0), \quad (24)$$

$$A_{Hpid} = \begin{pmatrix} A_N - (K_P + K_D) B_N C_N & B_N & B_N \\ -\lambda_I C_N & 0 & 0 \\ \lambda_D K_D C_N & 0 & -\lambda_D \end{pmatrix}, \quad B_{Hpid} = \begin{pmatrix} (K_P + K_D) B_N \\ \lambda_I \\ -\lambda_D K_D \end{pmatrix}. \quad (25)$$

Итак, формулы (8)–(25) представляют математические модели САР тепловой мощности ядерного реактора с различными типами регуляторов.

Выводы. На основании модели системы автоматического регулирования нейтронной мощности ядерного реактора ВВЭР-1000 и структурной схемы САР тепловой мощности получены математические модели САР тепловой мощности реактора в пространстве состояний с относительными переменными и вычислены значения постоянных параметров. Разработанные модели САРГМ с различными регуляторами, предназначены для многокритериального параметрического синтеза систем автоматического регулирования.

Список литературы: 1. Денисов В. П., Драгунов Ю. Г. Реакторные установки ВВЭР для атомных электростанций. – М.: ИздАТ. – 2002. – 480 с. 2. Северин В. П. Моделирование и оптимизация системы регулирования мощности ядерного реактора ВВЭР-1000 // Техн. электродинамика. Тематичний випуск «Силовая электроника та енергоефективність». – 2006. – Ч. 4. – С. 89–94. 3. Северин В. П. Моделирование системы автоматического регулирования ядерного реактора ВВЭР-1000 // Вестник НТУ «ХПИ» «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. – №. 54. – С. 136-141.

Поступила в редколлегию 14.01.09

В. П. СЕВЕРИН, д-р техн. наук, профессор НТУ «ХПИ»,
И. Г. КАЗАНЦЕВА, студентка НТУ «ХПИ»

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРЯМЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЯДЕРНОГО РЕАКТОРА

У статті розглядається оптимізація прямих показників якості систем регулювання ядерного реактора типу ВВЕР-1000 атомної електростанції на підставі раніше побудованих лінійної і нелінійної моделей систем управління нейтронною потужністю ядерного реактора з шістьма групами запізнілих нейтронів. Досліджено вплив номера кампанії активної зони і її періоду на динамічні характеристики реактора.

В статье рассматривается оптимизация прямых показателей качества систем регулирования ядерного реактора типа ВВЭР-1000 атомной электростанции на основании ранее построенных линейной и нелинейной моделей систем управления нейтронной мощностью ядерного реактора с шестью группами запаздывающих нейтронов. Исследовано влияние номера кампании активной зоны и ее периода на динамические характеристики реактора.

Optimization direct quality indexes of nuclear reactor WWER-1000 of nuclear power plant is examined in the article on the base of the before built linear and nonlinear models of control systems by neutron power of nuclear reactor with six groups of late neutrons. Influence of company number of active area and its period is probed on dynamic descriptions reactor.

Введение. В управлении энергоблоков атомных электростанций предусмотрен централизованный контроль и дистанционное управление технологическими процессами на основе систем автоматического регулирования (САР), осуществляемого автоматическими регуляторами.

Проблема оптимизации прямых динамических показателей качества ядерного реактора ВВЭР-1000 является актуальной проблемой. Значения прямых показателей качества – максимального отклонения, показателя колебательности и времени регулирования, определяют условия безопасной работы энергоблока, его надежность и быстродействие [1, 2].

В данной статье рассматривается оптимизация прямых показателей качества (ППК) САР ядерного реактора типа ВВЭР-1000 атомной электростанции на примере ранее построенных линейной и нелинейной моделей ядерного реактора, САР реактора и методики оптимизации ППК систем регулирования [3-5]. Так как результаты оптимизации ППК существенно зависят от модели нейтронной кинетики, целесообразно применять наиболее полную ее модель с шестью группами запаздывающих нейтронов.

Постановка задачи оптимизации. Для построения сравнимых по качеству переходных процессов нейтронной мощности подадим на вход САР ступенчатые изменения реактивности регулируемого стержня: $\rho_d = \alpha_v \cdot 1(t)$,

где α_v – коэффициент реактивности по мощности. При этом в соответствии с уравнением статики получим процессы с одинаковыми начальным и установившимся значениями мощности: $\nu(0) = 0$, $\nu(\infty) = 1$. Зададим значения ограничений задачи оптимизации ППК – допустимые значения перерегулирования и размаха колебаний $\sigma_m = 0$ и $\zeta_m = 0$, параметр зоны установившегося значения $\delta_y = 0.05$ и сформируем векторную целевую функцию [3]. Вычисляя эту функцию, при заданном значении числа шагов интегрирования $L = 200$, оптимизируем ее в случае одной переменной векторным методом адаптации шага, а в случае нескольких переменных – векторным методом Нелдера-Мида [5].

Результаты оптимизации регуляторов. В табл. 1 и 2 для различных типов регуляторов мощности и значения конечного времени интегрирования T_F представлены оптимальные значения параметров регуляторов K_p^* , λ_I^* , λ_D^* , соответствующие им значения проекций векторной функции F_1^* , F_2^* и времени регулирования t_c^* для линейных и нелинейных моделей САР мощности реактора с шестью группами запаздывающих нейтронов.

Таблица 1

Результаты оптимизации линейных САР

Тип регулятора	T_F , с	K_p^*	λ_I^* , с ⁻¹	λ_D^* , с ⁻¹	F_1^*	F_2^*	t_c^* , с
П	100	45,807	—	—	13	0,3605	36,050
И	1000	—	0,082750	—	14	0,3412	341,239
ПИ	100	100,00	2,594788	—	14	0,504	50,398
ПД	100	100,00	—	0,0435931	14	0,3607	36,066
ИД	1000	—	0,82734	100,00	13	0,6563	91,629
ПИД	100	100,00	2,594828	99,85286	15	0,5055	50,546

Таблица 2

Результаты оптимизации нелинейных САР

Тип регулятора	T_F , с	K_p^*	λ_I^* , с ⁻¹	λ_D^* , с ⁻¹	F_1^*	F_2^*	t_c^* , с
П	100	43,153	—	—	13	0,3716	37,159
И	1000	—	0,077317	—	14	0,3685	368,515
ПИ	100	100,00	2,318716	—	14	0,5311	53,114
ПД	100	100,00	—	0,549747	14	0,3718	37,177
ИД	1000	—	0,71670	17,4895	15	0,3693	369,294
ПИД	100	100,00	2,309897	96,1046	15	0,53	53,125

Данные приведенные в табл. 1 и 2 показывают, что при оптимальных значениях параметров П и ПД регуляторов статическая ошибка превосходит 10%, а И и ИД регуляторы приводят к большому значению времени регулирования. При одинаковой эффективности ПИ и ПИД регуляторов ПИ регулятор проще, он позволяет обеспечить высокое быстродействие САР. Поэтому для исследования влияния номера кампании активной зоны и ее периода на характеристики реактора был выбран ПИ регулятор.

На рис. 1 и 2 показаны графики оптимальных процессов в линейных и нелинейных САР. Эти графики подтверждают правильность выбора ПИ регулятора для дальнейших исследований.

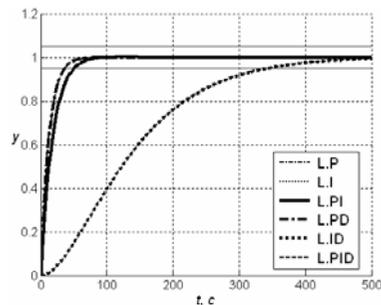


Рис. 1 – Оптимальные процессы в линейных моделях

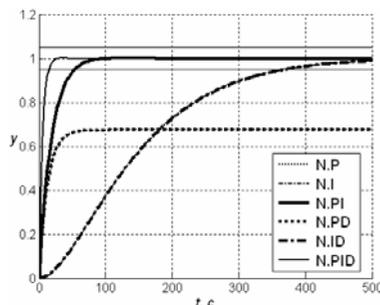


Рис. 2 – Оптимальные процессы в нелинейных моделях

По рис. 1 видно, что график процесса в САР с ПД регулятором совпадает с графиком, соответствующим П регулятору, ИД регулятора – с И регулятором, ПИД регулятора – с ПИ регулятором. Исходя из этого можно сделать вывод, что дифференциальная часть регулятора не улучшает показатели качества систем.

По рис. 2 также видно, что график процесса при ПД регуляторе совпадает с графиком при П регуляторе, ИД регулятора – с И регулятором. Следовательно для нелинейных моделей дифференциальная часть регуляторов также не улучшает показатели качества.

Исследование кампании реактора и ее периода. Для исследования влияния номера кампании активной зоны и ее периода на динамические характеристики реактора по его линейной модели из справочной литературы были взяты значения параметров реактора, зависящих от номера кампании активной зоны и от ее периода – начала, середины и конца кампании [2].

В табл. 3 для различных периодов кампании первой и стационарной загрузки ядерного топлива и линейной модели с ПИ регулятором представлены оптимальные значения параметров регулятора K_p^* , λ_l^* , соответствующие им значения проекции векторной функции F_2^* и времени

регулирования t_c^* . Переходные процессы в линейной модели с учетом периода кампании представлены на рис. 3–7.

Таблица 3

Результаты оптимизации линейной САР с ПИ регулятором

Загрузка	Период	K_p^*	λ_l^*, c^{-1}	F_2^*	t_c^*, c
Первая	начало	25	0,5934	0,2397	23,973
	середина	25	0,6962	0,5104	51,040
	конец	22,918	0,7688	0,6924	69,237
Стационарная	начало	25	0,6134	0,2354	23,5375
	середина	25	0,705	0,504	50,398
	конец	22,918	0,7688	0,6924	69,237

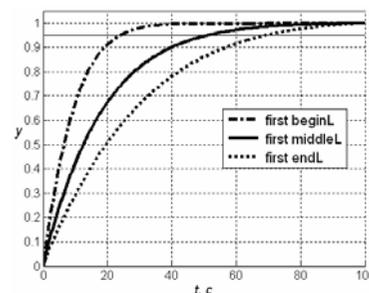


Рис. 3 – Процессы при первой загрузке

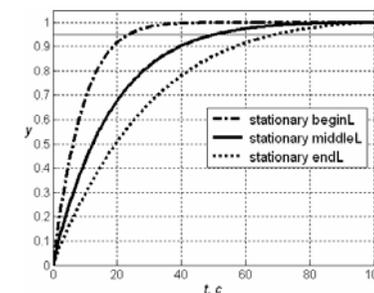


Рис. 4 – Процессы при стационарной загрузке

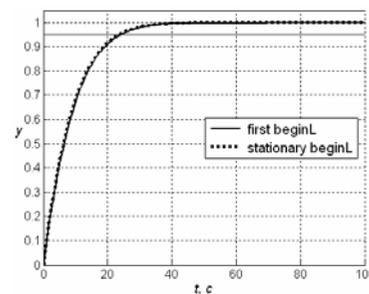


Рис. 5 – Процессы в начале кампании

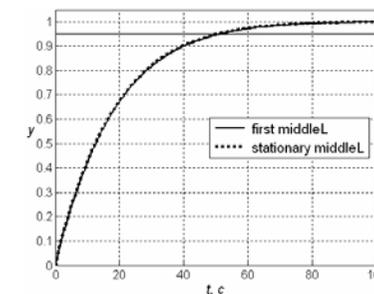


Рис. 6 – Процессы в середине кампании

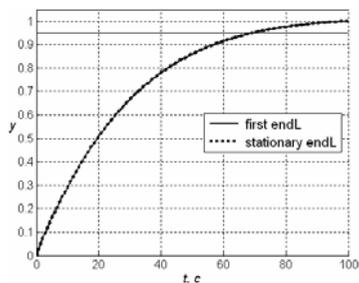


Рис. 7 – Процессы в конце кампании

В табл. 4 для различных периодов кампании первой и стационарной загрузок ядерного топлива и нелинейной модели ядерного реактора с ПИ регулятором представлены оптимальные значения параметров регулятора K_p^* , λ_I^* , соответствующие им значения проекции векторной функции F_2^* и времени регулирования t_c^* .

Переходные процессы в нелинейной модели с учетом периода кампании представлены на рис. 8–12. Рис. 3–12 показывают, что период кампании сильнее влияет на качество процессов в САУ, чем номер загрузки топлива. При этом с увеличением периода кампании время регулирования возрастает.

Таблица 4

Результаты оптимизации нелинейной САУ с ПИ регулятором

Загрузка	Период	K_p^*	λ_I^*, c^{-1}	F_2^*	t_c^*, c
Первая	начало	22,9216	0,487	0,3088	30,884
	середина	24,9982	0,6728	0,5346	53,456
	конец	25	0,7975	0,6798	67,982
Стационарная	начало	25	0,543	0,2764	27,638
	середина	25	0,6776	0,5311	53,114
	конец	25	0,7975	0,6798	67,982

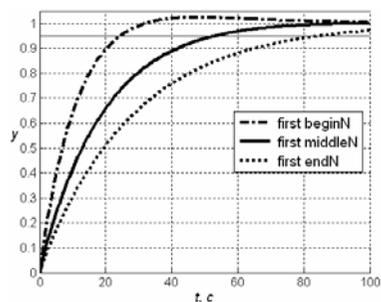


Рис. 8 – Процессы при первой загрузке

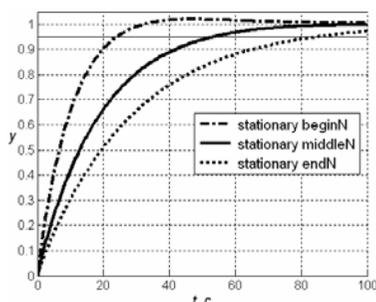


Рис. 9 – Процессы при стационарной загрузке

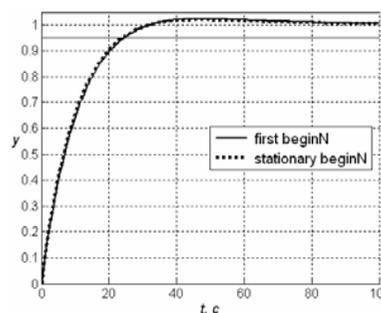


Рис. 10 – Процессы в начале кампании

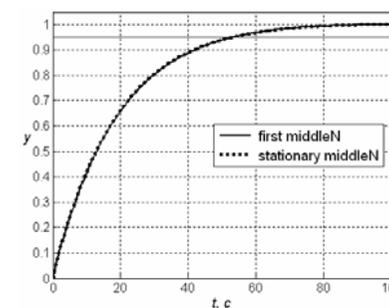


Рис. 11 – Процессы в середине кампании

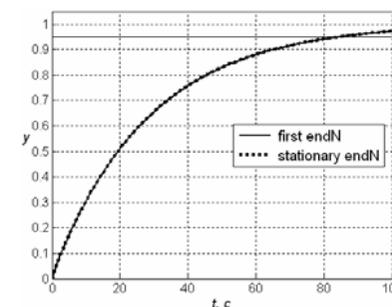


Рис. 12 – Процессы в конце кампании

Выводы. Результаты оптимизации прямых показателей качества систем регулирования нейтронной мощности реактора – перерегулирования, колебательности и времени регулирования показали, что период кампании сильнее влияет на качество процессов в системах автоматического регулирования, чем номер загрузки топлива. При этом с увеличением периода кампании время регулирования возрастает.

Список литературы: 1. Иванов В. А. Регулирование энергоблоков. — Л.: Машиностроение, 1982. — 311 с. 2. Денисов В. П., Драгунов Ю. Г. Реакторные установки ВВЭР для атомных электростанций. — М.: ИздАТ, 2002. — 480 с. 3. Северин В. П. Математическое моделирование и оптимизация показателей качества систем автоматического регулирования реакторной установки // Ядерная и радиационная безопасность. — 2007. — Том 10. — Вып. 2. — С. 66–77. 4. Северин В. П., Никулина Е. Н. Алгоритмы вычисления прямых показателей качества функций веса САУ // Радиоэлектроника и информатика. 2004. № 1. С. 52-59. 5. Северин В. П. Векторная оптимизация интегральных квадратичных оценок систем автоматического управления // Известия РАН. Теория и системы управления. 2005. № 2. С. 52-61.

Поступила в редколлегию 25.11.08

В. П. СЕВЕРИН, д-р, техн. наук, професор НТУ «ХПІ»,
Л.В.САДОВЕНКО, студентка НТУ «ХПІ»

РОЗРОБКА МЕТОДІВ ОБЧИСЛЕННЯ ПРЯМИХ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СИСТЕМ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

В статті представлені методи обчислення прямих показників якості систем автоматичного керування. Розглядається побудова перехідних процесів та обчислення показників якості, досліджується ефективність методів обчислення прямих показників.

В статье представлены методы вычисления прямых показателей качества систем автоматического управления. Рассматривается построение переходных процессов и вычисление показателей качества, исследуется эффективность методов вычисления прямых показателей.

Methods of quality indexes calculation of the automatic control systems are presented in the article. The building of transients and quality indexes calculation are discussed, methods of direct indexes calculation are examined.

Вступ. Однією з основних проблем створення систем автоматичного керування (САК) є проблема обчислення їх показників якості [1, 2]. Особливостями даної проблеми є велика кількість конструктивних параметрів систем, складність формалізації і визначення показників якості, суперечність вимог, що пред'являються до них, високий порядок моделей систем.

Більшість інженерних вимог до якості реальних систем формуються у вигляді прямих показників якості (ППЯ), таких як перегулювання, час регулювання, коливальність процесу. Ці показники є найважливішими критеріями, що визначають безпеку, надійність і швидкодію систем.

Мета статті полягає в розробці методів обчислення ППЯ систем керування за методами інтегрування систем диференціальних рівнянь (СДР).

Основні етапи обчислення ППЯ включають в себе розробку алгоритмів побудови перехідних процесів, розробку методів обчислення показників, дослідження ефективності і оцінку достовірності методів.

Чисельні методи побудови перехідних процесів. У загальному випадку ППЯ перехідних процесів в САК можуть бути визначені тільки шляхом чисельного інтегрування відповідної СДР [3-8]. В теорії автоматичного керування набули поширення матричні методи, що засновані на обчисленні матричної експоненти і застосовуються для інтегрування жорстких СДР.

Лінійна та нелінійна моделі САК у просторі станів мають вигляд:

$$dX/dt = AX + BU, \quad dX/dt = f(X, U), \quad X_0 = 0, \quad y = CX, \quad (1)$$

де $X = X(t)$ — вектор стану; U — вхідна дія; $y = y(t)$ — керована координата; A, B, C — матриці параметрів САК. Процеси в моделях (1) на

інтервалі часу $[0, T_f]$ з L кроками інтегрування довжини $h = T_f/L$ будуються за формулами:

$$t_k = kh, \quad X_k = X(t_k), \quad y_k = y(t_k), \quad k = \overline{0, L}, \quad \varphi = e^{Ah}, \quad \Phi = \int_0^h e^{A\tau} d\tau, \quad g = \Phi B, \\ X_k = \varphi X_{k-1} + g, \quad X_k = X_{k-1} + \Phi f(X_{k-1}, U), \quad y_k = CX_k, \quad k = \overline{1, L}, \quad (2)$$

де перша формула в (2) представляє матричний метод для лінійної моделі при $U = 1(t)$, а друга — системний метод першого ступеня Ю.В. Ракитського для нелінійної моделі. За $y_\infty = y(\infty)$ для відхилення $z(t) = y(t) - y_\infty$ знаходяться значення $z_k = y_k - y_\infty$, $k = \overline{0, L}$, їх прирости $u_{ik} = z_{k-2} - z_{k-1}$, $u_{rk} = z_k - z_{k-1}$, $k = \overline{2, L}$ і, якщо $u_{ik}u_{rk} > 0$, обчислюється значення екстремуму e_i :

$$d_{uk} = (u_{ik} - u_{rk})/2, \quad s_{uk} = u_{ik} + u_{rk}, \quad r_{uk} = d_{uk}/s_{uk}, \quad e_i = z_{k-1} - d_{uk}r_{uk}/2, \quad (3)$$

де $i = \overline{1, n_e}$, n_e — число екстремумів в $[0, T_f]$. За значеннями екстремумів перехідного процесу обчислюються прямі показники якості: перегулювання σ , розмах коливань ζ , показник загасання коливань λ . Нехай $[v] = \max\{v, 0\}$ — функція зрізки. Для слідкуючої системи з $y_\infty = 1$

$$\sigma = \begin{cases} 0, & n_e = 0, \\ \lfloor \max e_i \rfloor, & n_e > 0, \end{cases} \quad \zeta = \begin{cases} 0, & n_e = 0, 1, \\ \max |e_{2i-1} - e_{2i}|, & n_e > 1, \end{cases} \quad \lambda = \begin{cases} 0, & n_e = 0, 1, \\ \max \{|e_i|/|e_{i-1}|\}, & n_e > 1. \end{cases}$$

Для системи стабілізації з $y_\infty = 0$, процес в якій обов'язково має хоча б один екстремум e_1 , $\sigma = \max |e_i|$, а під час обчислення ζ і λ не враховується e_1 .

Час регулювання t_c та його відносне значення τ з позначеннями (3) обчислюються за формулами:

$$u_i = \delta_z \text{sign } z_{k-1} - z_{k-1}, \quad v_{0i} = r_{uk}h, \quad s_i = h\sqrt{r_{uk}^2 + 2u_i/s_{uk}}, \quad v_i = \begin{cases} v_{0i} + s_i, & v_i \leq 0, \\ v_{0i} - s_i, & v_i > 0, \end{cases} \\ t_i = t_{k-1} + v_i, \quad t_c = \max t_i, \quad \tau = t_c/T_f,$$

де t_i — момент попадання відхилення $z(t)$ в заданий інтервал $[-\delta_z, \delta_z]$ при $|z_{k-1}| \geq \delta_z \wedge |z_k| < \delta_z$. За наведеними формулами зіставлені алгоритми обчислення прямих показників якості САК $\sigma, \zeta, \lambda, t_c, \tau$.

Дослідження точності обчислення ППЯ. З метою визначення точності і швидкодії методів побудови перехідних процесів для обчислення ППЯ необхідно провести їх порівняння. Важливо досліджувати ефективність різних методів, вплив постійного і змінного кроку, а також порядку моделі САК на точність обчислення показників якості. Оскільки всі показники обчислюються шляхом чисельного інтегрування з подальшою квадратичною інтерполяцією, то досить дослідити точність обчислення одного з показників, наприклад, часу регулювання. Метод обчислення часу регулювання складніший за методи обчислення показників відхилення і коливальності, оскільки він використовує формулу з квадратним коренем, тому його погрішність має бути вище [1].

Для дослідження точності обчислення t_c використана тестова передавальна функція (ПФ) порядку n : $W(s) = \prod_{i=1}^n 1/(T_i s + 1)$; $T_i = 1/(n+1-i)$, $i = \overline{1, n}$.

На рис. 1 представлені логарифмічні залежності машинного часу T_c у секундах від відносної похибки ε обчислення t_c при $n = 500$ матричним методом ММ, системними методами першого та другого ступенів SM1 і SM2, модифікаціями метода Мерсона з постійним кроком CS, дискретною й безперервною зміною кроку DVS і CVS. Перехідні процеси тестових систем різних порядків представлені на рис. 2.

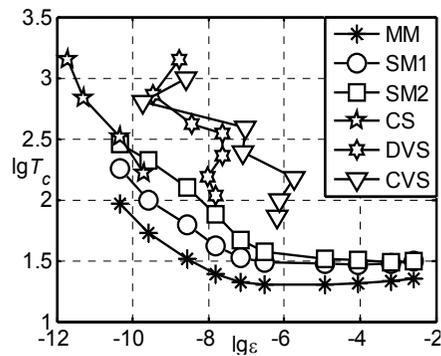


Рис. 1. Порівняння методів

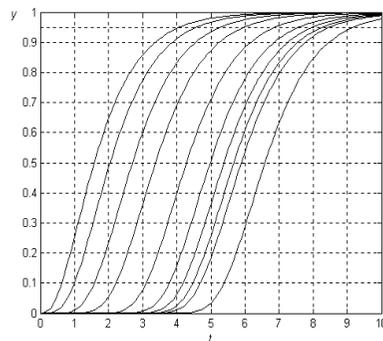


Рис. 2. Перехідні функції тестових систем

З метою дослідження характеру залежності ППЯ від змінних параметрів САК та оцінки достовірності формул та алгоритмів їх обчислення використана діаграма Вишнеградського, яка приведена на рис. 3 для тестової передавальної функції

$$W(s) = 1/(s^3 + x_1 s^2 + x_2 s + 1)$$

з областями аперіодичних А, монотонних М, коливальних К, нестійких Н процесів та точками, перехідні функції для яких показані на рис. 4. На рис. 5–8 представлені графіки ППЯ, побудовані для ПФ при $T_f = 40$ с, $\delta_z = 0,05$.

За допомогою цих графіків дозволяє дослідити залежність показників якості від змінних параметрів ПФ. Співставлення графіків та положення точок на них з областями й точками діаграми Вишнеградського, а також з показниками процесів на рис. 4 підтверджує достовірність обчислень ППЯ.

Аналіз вимог до процесів керування САК дозволяє встановити порядок переваги показників якості: σ , ζ , λ , τ . З урахуванням переваги показників та їх верхніх граничних значень σ_m , ζ_m , λ_m запропонована модель оптимізації показників як функцій вектору x змінних параметрів САК у вигляді мінімізації проєкцій векторних цільових функцій

$$F(x) = (\lfloor \sigma(x) - \sigma_m \rfloor, \lfloor \zeta(x) - \zeta_m \rfloor, \lfloor \lambda(x) - \lambda_m \rfloor, \tau(x))$$

шляхом порівняння її k -того та j -того значень операцією «краще» \prec :

$$F^{(k)} \prec F^{(j)} = \begin{cases} 0, & F_i^{(k)} < F_i^{(j)}, \\ 1, & F_i^{(k)} \geq F_i^{(j)}, \end{cases} \quad i = \begin{cases} m, & \exists m = \min \{r | F_r^{(k)} \neq F_r^{(j)}, r = \overline{1, 4}\}, \\ 4, & F_r^{(k)} = F_r^{(j)}, r = \overline{1, 4}. \end{cases}$$

Особливістю цієї задачі оптимізації є обмеженість області визначення введених показників якості системи керування умовами її стійкості [1].

Максимальне відхилення σ і показник коливальності ζ визначаються на підставі масиву екстремумів перехідної або вагової функцій E розмірності m . Розглянуті методи і алгоритми обчислення ППЯ — максимального відхилення, коливальності і часу процесу враховують обмеження спостереження процесів за часом кінцем T_f інтервалу інтегрування СДР і застосовні тільки для стійких систем. В той же час при чисельній оптимізації цих показників точки оптимізаційного пошуку можуть потрапляти в нестійку область простору варійованих параметрів, коли відхилення керованої величини необмежено зростає. Тому при формуванні прямих критеріїв оптимальності на підставі ППЯ необхідно враховувати також обмеження спостереження процесів за відхиленням: $z \in [z_{\min}, z_{\max}]$.

Для обчислення прямих критеріїв якості задамо область зміни відхилення $z(t)$, обмежену як за часом, так і за відхиленням:

$$\Omega = \{(t, z) | t \in [0, T_f], z \in [z_{\min}, z_{\max}]\}$$

Позначимо $z_m = z_{\max}$ і задамо $z_{\min} = -z_m$. Спостерігаючи процес в області Ω до досягнення її межі по змінних t або z , визначимо всі критерії якості процесу. Хай на межі за змінною часу t $z_f = z(T_f)$ — значення відхилення на кінці інтервалу інтегрування, а на межі за змінною z t_m — час першого досягнення цієї межі, $r = t_m/T_f$ — його відносне значення $r \in (0, 1]$. Якщо межа області Ω за z не досягається $|z| < z_m$, то ці показники обмежені: $\sigma \in [0, z_m)$, $\zeta \in [0, 2z_m)$. Інакше при існуванні $|z| = z_m$ для критерію показників сформуємо штраф, що перевершує верхню грань показника і тим більший, чим менше відносне значення r часу t_m .

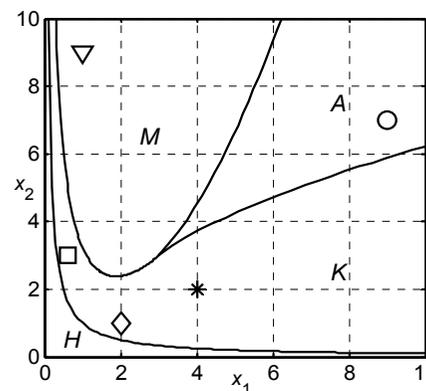


Рис. 3. Діаграма Вишнеградського

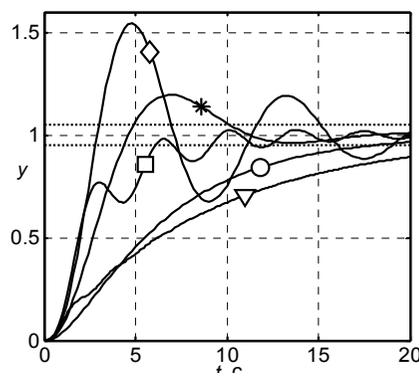


Рис. 4. Перехідні функції

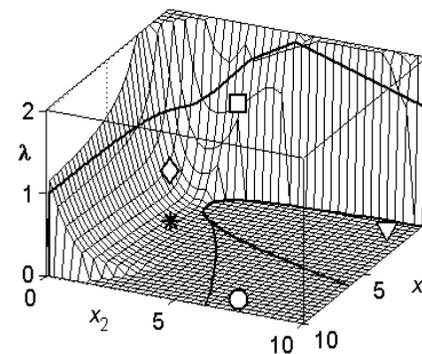


Рис. 7. Загасання коливань

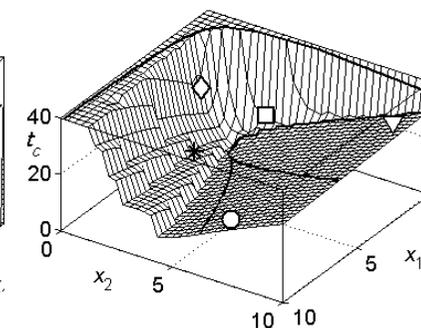


Рис. 8. Час регулювання

Висновки. Проведені дослідження дозволяють зробити висновки.

1. Приведені формули обчислення показників відхилення і коливальності за масивами екстремумів перехідної і вагової функцій систем керування.
2. Результати показують перспективність застосування прямих показників якості для систем високого порядку, зокрема для систем автоматичного керування з розподіленими параметрами.
3. Експериментально встановлено, що зміна кроку інтегрування не ефективна, матричний метод оптимальний для за точністю і швидкодією.

Список джерел інформації: 1. Северин В. П. Моделі і методи оптимізації показників якості систем автоматичного управління енергоблоку атомної електростанції: Автореф. дис. д-ра техн. наук: 20.09.07 / НТУ «ХП». – 2007. – 35 с. 2. Солодовников В. В., Плотников В. Н., Яковлев А. В. Основы теории и элементы систем автоматического регулирования. – М.: Машиностроение, 1985. – 536 с. 3. Ланс Дж. И. Численные методы для быстродействующих вычислительных машин: Пер. с англ. – М.: Изд. иностр. лит-ры, 1962. – 200 с. 4. Christiansen J. Algorithm 77. Solving a system of simultaneous ordinary differential equations of the first order using a method for automatic step change. // The Computer Journal. – 1973. – V. 16. – N. 2. – 187-188.p. 5. Гринченко Н. П., Штейнвольф Л. И. Применение одношаговых численных методов для исследования переходных процессов в механических системах // Динамика и прочность машин. – Харьков: Вища школа, 1974. – Вып. 20. – С. 11-17.. 6. Королев В. К. Сравнение некоторых методов численного интегрирования обыкновенных дифференциальных уравнений // Вычислительные системы. – 1975. – Вып. 64. – С. 108-117. 7. Веников В. А., Погосян Т. А. Автоматическое изменение шага интегрирования при расчетах длительных переходных процессов в электроэнергетических системах // Изв. вузов. Энергетика. – 1984. – № 3. – С. 3-7. 8. Зайцев Г. Ф., Бурсов Г. В. Система автоматического управления магнитным подвесом с дифференциальной связью // Электроника и связь. – 2006. – №1. – Часть. 1. – С. 26-39.

Надійшла до редколегії 08.01.09

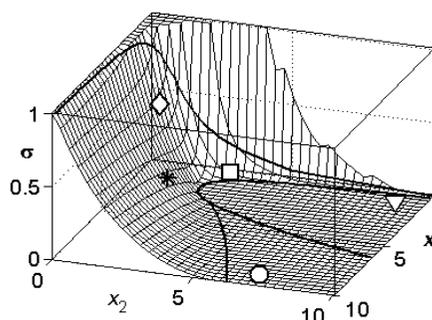


Рис. 5. Перерегулювання

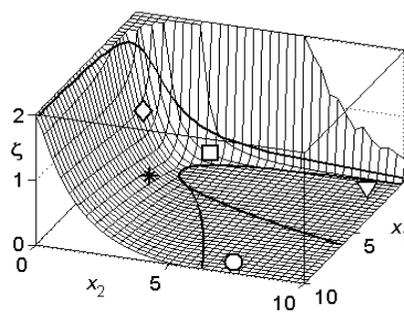


Рис. 6. Розмах коливань

В.А. КОЛБАСИН, аспирант каф. КМММ НТУ «ХПИ»

РЕКУРРЕНТНАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МЕТОДА ОПОРНЫХ ВЕКТОРОВ

В статті пропонується ітераційний метод ідентифікації нелінійної динамічної системи. Для побудови моделі системи використовується метод опорних векторів. Для ітеративного обчислення матриці Грама використовуються прямі та зворотні формули Гревілья.

В статье предлагается итерационный метод идентификации нелинейно динамической системы. Для построения модели системы используется метод опорных векторов. Для итеративного вычисления матрицы Грама используются прямые и обратные формулы Гревилья.

In the article there have been proposed iterative method of nonlinear dynamic system identification. Support vector machines are used for designing dynamic system model. And Greville formulas are used for iterative evaluation Gramm matrix.

Введение. Для управления динамической системой в условиях неопределенности в первую очередь необходимо провести идентификацию этой системы с целью построения модели системы и оценка её параметров.

В последнее время было разработано и предложено множество методов идентификации сложных динамических систем. Многие из них основаны на использовании универсальных аппроксиматоров - искусственных нейронных сетей. Однако их практическое применение связано с рядом трудностей, из которых наиболее существенными являются:

- трудность выбора необходимого количества элементов обучающей выборки (при малом количестве наблюдается слишком грубая оценка модели - underfitting, при слишком большом количестве образцов получаем существенное увеличение времени обучения, а кроме того, наблюдается эффект переобучения - overfitting);

- медленная сходимость алгоритмов обучения нейронных сетей, что создает проблемы при идентификации в реальном масштабе времени (при сложной нелинейном характере идентифицируемой модели возможно наличие множества локальных минимумов, которые существенно затрудняют процесс обучения).

В то же время хорошо себя зарекомендовал метод опорных векторов (support vector machine - SVM), который эффективен при идентификации сложных нелинейных зависимостей в условиях малых выборок, а также обеспечивает возможность получения аналитического выражения для оценки неизвестных параметров модели [1].

Обычно метод опорных векторов применяется к стационарным системам, параметры которых существенно не меняются со временем. Это означает, что

достаточно один раз по первым N наблюдениям построить модель системы, и далее оценки модели будут применимы для всех последующих входных векторов. Однако в случае, когда система существенно нестационарна, необходимо строить модель по некоторому скользящему окну наблюдений. При большой размерности вектора состояния и вектора управления такой подход нереализуем в масштабе реального времени из-за значительного количества вычислений.

В данной работе предложен итерационный алгоритм для идентификации нестационарной нелинейной динамической системы по скользящему окну наблюдений. Для ускорения идентификации используется рекуррентное вычисление обратной матрицы Грама.

Постановка задачи. Рассмотрим задачу идентификации дискретной нелинейной нестационарной динамической системы:

$$\begin{cases} x(k+1) = f(\{x\}_{k-n+1}^k, \{u\}_{k-m+1}^k) \\ y(k+1) = x(k+1) + e(k+1) \end{cases}, \quad (1)$$

где $\{x\}_{k-n+1}^k$ - предыдущие значения вектора состояния $\{x(k-n+1), \dots, x(k)\}$; $\{u\}_{k-n+1}^k$ - последовательность управляющих сигналов $\{u(k-n+1), \dots, u(k)\}$; y - выход системы; $f(x)$ - гладкая нелинейная функция; e - аддитивный нормально распределенный шум с нулевым средним и заданной дисперсией σ_e^2 .

Для идентификации рассматриваемой динамической системы будем использовать следующую модель системы:

$$y = w^T \varphi(z) + e \quad (2)$$

где $\varphi(z)$ - вектор координатных функций, вектор $w \in \mathbf{R}^m$ состоит из подлежащих определению параметров модели, а вектор z включает в себя как предыдущие значения вектора состояния, так и множество управляющих сигналов в прошедшие моменты времени: $z = [\{x\}_{k-n+1}^k, \{u\}_{k-n+1}^k]$.

Структура модели определяется априори выбранным вектором координатных функций $\varphi(z) \in \mathbf{R}^m$. Для обеспечения эффективной аппроксимации достаточно сложных моделей вектор-функция $\varphi(z)$ является нелинейным преобразованием, которое переводит входной вектор z в пространство признаков большей размерности, чем размерность входного вектора z .

Поскольку рассматриваемая система нестационарна, параметр w будем оценивать для каждой совокупности наблюдений $I_k = \{y_j, x_j, u_j\}_{j=k-n}^{k-1}$, соответствующих текущему скользящему окну.

Оценка параметра $\hat{w}(k)$ зависит от выбора вектора координатных функций $\varphi(z)$ и в случаях высокой размерности требует весьма большого количества вычислений. Для сокращения объема вычислений в соответствии с известной теоремой Мерцера координатные функции выбирают так, чтобы скалярное произведение векторов $\varphi^T(z_i)\varphi(z_j)$ можно было представить в виде положительно определенной функции $K(z_i, z_j)$ (обычно называемую ядерной функцией). В прикладных задачах распознавания образов и прогнозирования обычно используются радиально-базисные функции (RBF - radial basis functions) вида $K(z_i, z_j) = \exp(-\mu \|z_i - z_j\|_2^2)$, где $\mu > 0$ - некоторый настроечный параметр.

Таким образом, для выбранной структуры модели оценка выходной переменной y будет иметь вид:

$$\hat{y}(k) = (\hat{w}(k-1))^T \varphi(z_{k-1}). \quad (3)$$

Решение задачи идентификации. Для решения задачи идентификации модели (2) воспользуемся байесовской схемой оценивания параметров динамической системы [1,2]. При применении этой схемы оценки неизвестных параметров модели (2) определяются путем решения задачи условной минимизации функционала:

$$J(w, \varepsilon) = \frac{\sigma_w^2}{2} w^T w + \frac{\sigma_\varepsilon^2}{2} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i^2, \quad \varepsilon_i^2 = (y_i - w^T \varphi(z_i))^2. \quad (4)$$

Для решения этой задачи перейдем к эквивалентной сопряженной оптимизационной задаче, которая формулируется с использованием функции Лагранжа для задачи (4):

$$L(w, \varepsilon, \lambda) = J(w, \varepsilon) + \sum_{i=1}^n \lambda_i [y_i - w^T \varphi(z_i) - \varepsilon_i], \quad (5)$$

где $\lambda \in \mathbf{R}^n$ - вектор сопряженных (опорных) переменных.

Решая оптимизационную задачу (5), получим систему уравнений:

$$(\gamma^{-1} I_n + \Phi_n) \lambda = Y_n, \quad (6)$$

где $Y_n = (y_1, y_2, \dots, y_n)^T$ - вектор наблюдений прогнозируемого параметра, $\Phi_n = \|\Phi_{ij}\|$ - матрица Грамма размером $n \times n$ с элементами вида $\Phi_{ij} = \varphi^T(z_i)\varphi(z_j) = K(z_i, z_j)$ $i, j = \overline{1, n}$, зависящая от предшествующих наблюдений, I_n - единичная матрица соответствующей размерности,

$\gamma = \sigma_\varepsilon^2 / \sigma_w^2$ - отношение "шум - сигнал", величина которого определяется доступной априорной информацией.

Решением задачи (5) являются выражения:

$$\lambda = G_n^{-1}(\gamma) \cdot Y_n, \quad \hat{w}(i) = \sum_{j=1}^n \lambda_j(i) \varphi(x_j), \quad (7)$$

где $G_n(\gamma) = (\gamma^{-1} I_n + \Phi_n)$.

С использованием формул (7) окончательно получим выражение для оценки выходной переменной y на k -м шаге:

$$\hat{y}(k+1) = \sum_{j=1}^n \lambda_j(k) K(z_j, z_k). \quad (8)$$

Рекуррентный алгоритм идентификации по скользящему окну.

Поскольку процедура вычисления обратной матрицы вычислительно сложная емкая, то применение полученного алгоритма идентификации в режиме реального времени достаточно сложно. Для получения итерационных формул будем использовать аппарат псевдообращения матриц, а именно, прямые и обратные формулы Гревилля [3].

Прямые формулы - это формулы определяющие вид псевдообращения матрицы при её дополнении строкой или столбцом. Они определяются соотношениями, в которых используется блочное представление псевдообращения расширенной матрицы:

1) Расширение матрицы A строкой a^T :

$$\begin{pmatrix} A \\ a^T \end{pmatrix}^+ = (P:q) \quad (9)$$

где P - $n \times m$ - матрица и q - $n \times 1$ - вектор;

2) Дополнение матрицы A столбцом a :

$$(A:a)^+ = \begin{pmatrix} Q \\ r^T \end{pmatrix} \quad (10)$$

где Q - $n \times m$ - матрица и r - $m \times 1$ - вектор.

Тогда матрицы P, Q и вектора q, r определяются по формулам:

$$\left\{ \begin{array}{l} P = (E - qa^T)A^+ \\ q = \begin{cases} \frac{Z(A)a}{a^T Z(A)a}, & a^T Z(A)a > 0 \\ \frac{R(A)a}{1 + a^T R(A)a}, & a^T Z(A)a = 0 \end{cases} \end{array} \right., \quad (11)$$

$$\left\{ \begin{array}{l} Q = A^+(E - ar^T) \\ r = \begin{cases} \frac{Z(A^T)a}{a^T Z(A^T)a}, & a^T Z(A^T)a > 0 \\ \frac{R(A^T)a}{1 + a^T R(A^T)a}, & a^T Z(A^T)a = 0 \end{cases} \end{array} \right., \quad (12)$$

где $R(A)$ и $Z(A)$ - операторы, определенные формулами:

$$R(A) = A^+ A^{T+}, \quad R(A^T) = A^{+T} A^+, \quad (13)$$

$$Z(A) = E_n - A^+ A, \quad Z(A^T) = E_m - AA^+. \quad (14)$$

Обратные формулы Гревилля определяют вид псевдообращения матрицы при вычеркивании в матрице строки или столбца. Как и в прямых формулах Гревилля, вид выражений, связывающих псевдообращения исходной и преобразованной матрицы, выписывается в рамках блочных представлений, аналогичных выражениям (9) и (10), а именно:

$$\begin{pmatrix} a^T \\ A \end{pmatrix}^+ = (q : P), \quad (15)$$

$$(a : A)^+ = \begin{pmatrix} r^T \\ Q \end{pmatrix}. \quad (16)$$

Тогда при вычеркивании строки a^T с учетом (15) матрица A^+ примет следующий вид:

$$A^+ = \begin{cases} \left(I_n - qq^T / \|q\|^2 \right) P, & a^T q = 1 \\ \left(I_n - qa^T / (1 - a^T q) \right) P, & a^T q < 1 \end{cases}. \quad (17)$$

При вычеркивании столбца a с учетом (16) A^+ примет следующий вид:

$$A^+ = \begin{cases} Q \left(I_m - \frac{rr^T}{\|r\|^2} \right), & a^T r = 1 \\ Q \left(I_m - \frac{ra^T}{1 - a^T r} \right), & a^T r < 1 \end{cases}. \quad (18)$$

Для рекуррентного вычисления параметра $\lambda(k+1)$ будем использовать следующий алгоритм:

1. Сформируем выборку для оценки параметров на следующей итерации: $I_{k+1} = \{y_j, x_j, u_j\}_{j=k-n+1}^k$

2. Используя вычисленную на предыдущей итерации матрицу $G_k^{-1}(\gamma)$, вычислим матрицу $G_{k+1}^{-1}(\gamma)$: последовательно выполним преобразования (17), (18), (11) и (12) – т.е. получим обратную матрицу от матрицы, полученной следующим образом: вычеркнем в матрице $G_k(\gamma)$ первый столбец и первую строку, затем добавим строку c^T и столбец d , которые равны:

$$c^T = (K(z_{k-n+1}, z_k), K(z_{k-n+2}, z_k), \dots, K(z_{k-1}, z_k)), \quad (19)$$

$$d^T = (K(z_k, z_{k-n+1}), K(z_k, z_{k-n+2}), \dots, K(z_k, z_k)). \quad (20)$$

3. Для получения оценки параметра $\lambda(k+1)$ выполним преобразование (7) с новой матрицей $G_{k+1}^{-1}(\gamma)$.

Заключение. Таким образом, в работе предложена общая схема рекуррентной идентификации нелинейной динамической системы на основе метода опорных векторов. Практическая реализация метода требует формирования методики оценки настроечных параметров μ, γ , а также решения дополнительных вопросов, связанных с выбором оптимальной сложности модели, определяемой ее размерностью n .

Список литературы: 1. Cristianini N., Shawe-Taylor J. An Introduction to Support Vector Machines. Cambridge, Univ. Press, 2000. - 320 p. 2. Гринберг Г. Л., Любчик Л. М. Идентификация и прогнозирование финансовых временных рядов на основе метода опорных векторов. – Вестник НТУ «ХПИ». Сб. научных трудов. Тем. вып. «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2003. – № 18. – С. 29-32. 3. Кириченко Н., Донченко В. Гиперплоскости в «множествах и расстояниях соответствия»: кластеризация. - International Book Series "Information Science and Computing". – 2008. – № 2. – С. 25–36.

Поступила в редколлегию 08.01.08

А.В. ДЕМИН, канд. физ.-мат. наук, зав. лаб. ИСМА НАН Украины,
В.А. КОЛБАСИН, ст. преподаватель каф. САиУ НТУ «ХПИ»

ПАРАЛЛЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ФЭУ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КООРДИНАТ СЦИНТИЛЛЯЦИЙ В ДЕТЕКТОРАХ ГАММА-КАМЕР

У статті розглянуті питання реалізації вдосконаленого метода відновлення параметрів сцинтиляцій на паралельних обчислювальних пристроях. Метод передбачує обчислення оцінок параметрів сцинтиляцій виходячи із знання виду функції розсіювання світла у кристалі. Розглянуто питання адаптації методу для реалізації на паралельних обчислювальних пристроях класу SIMD та питання його реалізації для процесорів відеокарт NVidia за допомогою технології CUDA.

В статье рассмотрены вопросы реализации усовершенствованного метода восстановления параметров сцинтилляций на параллельных вычислительных устройствах (ВУ). Метод предполагает вычисление оценок параметров сцинтилляции исходя из знания вида функции распределения света в кристалле. Рассмотрены вопросы адаптации метода для реализации на параллельных ВУ класса SIMD и вопросы его реализации для процессоров видеокарт NVidia при помощи технологии CUDA.

The problems of improved method of scintillation parameters estimation realization on parallel computational devices are considered. The method based on calculation of scintillation parameters estimations taken from crystal light spread function. Problems of method adaptation for implementation on SIMD parallel computational devices are considered. Method realization on NVidia video processor using CUDA technology is described.

Введение. Одним из основных методов функциональной диагностики является сцинтиграфия. Суть метода состоит в том, что больному вводится фармпрепарат с радионуклидной меткой (радиофармпрепарат, РФП). В зависимости от типа РФП проходит по организму и накапливается в том или ином органе. Далее при помощи специального оборудования (гамма-камеры) регистрируются испускаемые меткой гамма-кванты, и по ним восстанавливается распределение РФП в теле пациента. По сути, данный метод позволяет неинвазивно составить карту функционирования тканей внутри отдельных органов и систем органов. Благодаря относительно низкой лучевой нагрузке, данный метод широко применяется в медицине для диагностики онкологических заболеваний и функциональных исследований систем органов.

Вместе с тем для большинства сцинтиграфических систем характерно достаточно низкое пространственное разрешение – порядка 3-4 мм. Традиционный подход к повышению пространственного разрешения предполагает использование позиционно-чувствительных фотоэлектронных умножителей (ФЭУ) и уменьшение геометрических размеров ФЭУ. Однако

этот подход приводит к существенному увеличению стоимости всей системы, что неприемлемо для отечественной медицины.

Другим подходом к увеличению пространственного разрешения является совершенствование методов восстановления координат и энергии сцинтилляции. Однако его реализация требует значительного увеличения вычислительной мощности детектора гамма-камеры, что можно осуществить только при помощи параллельных вычислительных устройств. До недавнего времени реализация данного подхода также требовала существенных финансовых затрат. Но с появлением технологии CUDA [1], позволяющей использовать процессоры видеокарт для неграфических вычислений, стало возможным реализовать усовершенствованные алгоритмы восстановления координат при приемлемой стоимости реализации.

Таким образом, данная работа посвящена реализации усовершенствованных методов восстановления координат сцинтилляции на базе процессоров видеокарт.

Методы восстановления параметров сцинтилляции. Распределение потока фотонов от сцинтилляционной вспышки описывается функцией рассеяния света в кристалле (ФРС). Координаты сцинтилляции, как правило, совпадают с максимумом этой функции. Распределение света от сцинтилляции регистрируется ФЭУ, которые образуют гексагональную решетку и покрывают всю поверхность кристалла. Для восстановления параметров сцинтилляции необходимо по зарегистрированным ФЭУ значениям дискретизированной ФРС конкретной сцинтилляции определить оценки ее координат и энергии.

Традиционно для этой цели применяется предложенный в работе [2] алгоритм Ангера, согласно которому оценка энергии сцинтилляции a определяется как сумма значений, а координаты сцинтилляции x, y – как центр тяжести дискретизированной ФРС:

$$a = \sum_{i=0}^N v_i, \quad x = \frac{\sum_{i=0}^N x_{rem_i} \cdot v_i}{a}, \quad y = \frac{\sum_{i=0}^N y_{rem_i} \cdot v_i}{a}, \quad (1)$$

где v_i - измеренное значение на выходе i -го ФЭУ;

x_{rem_i}, y_{rem_i} - координаты i -го ФЭУ.

Однако метод Ангера обладает рядом недостатков, из которых наиболее значимыми являются усиление шумов ФЭУ и придание слишком большого веса ближайшему к месту сцинтилляции ФЭУ.

В работе [3] было предложено для восстановления параметров сцинтилляций использовать аппроксимационный метод, заключающийся в определении энергии и координат сцинтилляции как аргумента, минимизирующего среднеквадратичное отклонение измеренных на выходах

ФЭУ значений интенсивности потока фотонов от расчетных значений при заданной форме функции рассеяния света в кристалле:

$$(x, y, a) = \arg \min \sum_{i=0}^N (v_i - LSF(x, y, a))^2, \quad (2)$$

где LSF - функция рассеяния света в кристалле.

Однако функция ФРС не имеет аналитического представления, в связи с чем соответствующие оценки параметров сцинтилляции могут быть найдены только численно, что требует значительных затрат вычислительных ресурсов. При этом специфика работы гамма-камер требует, чтобы поступающие на детектор данные обрабатывались в режиме реального времени. Отложенная обработка недопустима, поскольку врач должен наблюдать за ходом исследования и при необходимости корректировать его. Скорость обработки данных, которую должен обеспечить детектор, должна быть не меньше чем 300 000 событий в секунду. Такую скорость обработки данных для аппроксимационного алгоритма можно обеспечить только при использовании параллельных вычислительных устройств (ВУ).

Реализация аппроксимационного метода. Существуют два основных класса параллельных ВУ[4]:

1) ВУ с параллельными потоками инструкций, где каждая инструкция обрабатывает свой набор данных Multiple Instructions – Multiple Data (MIMD).

2) ВУ с параллельными потоками данных, где одна инструкция выполняется для нескольких наборов данных Single Instructions – Multiple Data (SIMD).

ВУ класса MIMD являются наиболее универсальными, но и наиболее дорогостоящими. ВУ класса SIMD проще и дешевле чем ВУ класса MIMD, однако прирост производительности они дают только для определенного класса задач. ВУ класса SIMD эффективны только в задачах, где предполагается выполнение одинаковых операций над несколькими наборами данных. Если же для обработки каждого набора данных требуется свой набор инструкций, то их эффективность резко снижается.

Рассмотрим, ВУ какого типа необходимо для реализации аппроксимационного метода. В аппроксимационном методе для обработки данных каждой сцинтилляции используется один и тот же алгоритм. Однако размер набора данных и количество итераций алгоритма численной оптимизации различаются для каждой сцинтилляции. Если обеспечить постоянство размера набора исходных данных и постоянство количества итераций, то для реализации аппроксимационного метода может быть использовано ВУ класса SIMD.

Для фиксации размера блока исходных данных и количества итераций предлагается использовать следующий подход. Если для одной вспышки с выходов ФЭУ считывается более 16 значений интенсивности потока фотонов,

то из данного набора выбираются 16 наибольших значений. Если же считывается менее 16 значений интенсивности, то они дополняются до 16 нулевыми значениями. Количество итераций задается константой, которая определяется экспериментально, исходя из условия, что после выполнения данного количества итераций шаг изменения оценок координат сцинтилляции для 95% сцинтилляций становится менее миллиметра.

Так как функция распределения света в кристалле задана таблично, вычисление ее производных будет привносить дополнительную ошибку в вычисления и поэтому представляется нецелесообразным. Для численной минимизации предлагается использовать один из наиболее эффективных методов нулевого порядка – метод Нелдера-Мида [5].

Для реализации аппроксимационного метода в данной работе был выбран процессор видеокарты NVidia, являющийся гибридным параллельным ВУ. Процессор видеокарты включает до 16 мультипроцессоров, каждый из которых содержит 8 потоковых процессоров, представляющих собой арифметико-логическое устройство, выполняющее операции над целыми числами и числами с плавающей точкой одинарной точности. Это означает, что за один такт времени ВУ видеокарты может выполнить 16 различных инструкций, при этом каждая инструкция может быть выполнена для 8 потоков данных.

Программный интерфейс процессора рассматривает каждый поток данных в качестве отдельного потока выполнения (thread) для которого допустимы условные операторы. При этом, если разветвление кода происходит внутри потоков, выполняющихся в одном мультипроцессоре, то осуществляется его сериализация – код из разных ветвей выполняется последовательно.

Доступ к памяти в процессорах NVidia организуется в соответствии с архитектурой неравномерного доступа к памяти (NUMA). Каждый мультипроцессор может обращаться к медленной общей памяти большого размера или же к локальной для мультипроцессора быстрой памяти (shared memory) размером 8 кб. Локальная память разделена на 32 банка, доступ к которым может осуществляться параллельно и независимо.

Такая архитектура весьма удобна для данной задачи, поскольку параллелизм на уровне команд между мультипроцессорами и механизм сериализации внутри мультипроцессора позволяют снизить издержки на ожидание выполнения различных ветвей алгоритма численной оптимизации. А размещение обрабатываемого набора данных в локальной памяти позволяет уменьшить количество обращений к общей памяти, за счет чего существенно ускорить работу системы.

Ограничение на использование одинарной точности несущественно для данной задачи, поскольку значения координат и энергии точки сцинтилляции; измеренные на выходах ФЭУ значения и значения функции ФРС укладываются в данный диапазон.

Результаты. Программная реализация аппроксимационного метода и метода Ангера была создана в трех версиях: первая версия использует только центральный процессор, вторая – процессор видеокарты без использования локальной памяти, а третья – процессор видеокарты с использованием локальной памяти для хранения промежуточных данных. Реализация методов для центрального процессора была создана с использованием стандартных средств языка C++ и не использует SIMD расширений архитектуры x86.

Для сравнения производительности реализаций измерялось время обработки набора данных, содержащего информацию о 2500000 сцинтилляциях. Обработка проводилась на компьютере с процессором Intel Core 2 Duo частотой 3 ГГц и видеокартой NVidia 8800 GT со стандартными частотными характеристиками. Результаты измерений приведены ниже в таблице.

Результаты тестирования метода

Реализация метода	Метод Ангера		Аппроксимационный метод	
	Время (сек.)	Скорость (сцинт./сек.)	Время (сек.)	Скорость (сцинт./сек.)
Процессор	0,9	2831110	382	6670
Видеокарта, общая память	1,2	2083330	23	110780
Видеокарта, локальная память	--	--	15	169870

Как видно из приведенной таблицы, при реализации аппроксимационного метода на базе технологии CUDA скорость вычислений увеличилась в 25 раз и приблизилась к требуемой скорости счета детектора гамма-камер. Использование локальной памяти увеличило скорость вычислений в 1.53 раз. Для алгоритма Ангера из-за простоты самого алгоритма существенными оказываются затраты на обмен данными между памятью видеокарты и процессора, поэтому его реализация на ЦП оказалась более эффективной.

Таким образом, аппроксимационный метод при помощи технологии CUDA может быть эффективно реализован на базе процессоров видеокарт NVidia. Что позволяет повысить пространственную разрешающую способность детекторов гамма-камер с минимальными затратами.

Авторы благодарят фонд CRDF за частичное финансирование.

Список литературы: 1. NVidia CUDA Programming Guide. – NVidia Corp, 2008. – Режим доступа: http://developer.download.nvidia.com/compute/cuda/2_0/docs/NVIDIA_CUDA_Programming_Guide_2.0.pdf. 2. Anger H.O., Scintillation camera. // Rev. Sci. Instrum. – 1958. – vol.29. – P.27-33. 3. Демин А.В., Гаврилюк В.П., Колбасин В.А. Исследование неангеровских алгоритмов восстановления координат сцинтилляционной вспышки для детекторов гамма-камер // Тезисы международной конференции «Инженерия сцинтилляционных материалов и радиационные технологии – 2008». – С. 29. 4. Немнюгин С., Стесик О. Параллельное программирование для многопроцессорных вычислительных систем. – СПб.:БХВ-Петербург. – 400 с. – 2002. 5. Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В. Курс методов оптимизации. – М.:ФИЗМАТЛИТ. – 368 с. – 2005.

Поступила в редколлегию 23.12.08

А. А. ПАВЛОВ, д-р техн. наук, проф. каф. АСОИУ НТУУ «КПИ»,
А. С. ШТАНЬКЕВИЧ, студент каф. АСОИУ НТУУ «КПИ»

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ПАССИВНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА С ОГРАНИЧЕННЫМ НАБОРОМ ДАННЫХ

У статті розв'язується задача відновлення закономірності за невеликим числом експериментальних даних за припущення виконання певних умов. Показано, що розв'язання цієї задачі може бути зведено до задачі лінійного цілочисельного програмування (ЛЦП). Обґрунтовано метод розв'язання сформульованої задачі ЛЦП. Викладені та обґрунтовані наближені методи розв'язання цієї задачі.

В статье решается задача восстановления закономірності по небольшому числу экспериментальных данных в предположении выполнения определенных условий. Показано, что решение этой задачи может быть сведено к задаче линейного целочисленного программирования (ЛЦП). Обоснован метод решения сформулированной задачи ЛЦП. Изложены и обоснованы приближенные методы решения этой задачи.

In the article the recovery problem of an unknown law by small quantity of experimental data assuming certain conditions is solved. It is shown that solution of this problem can be reduced to the linear integral problem (LIP). The method of solving the stated LIP problem is grounded. The approximate methods of solving this problem are stated and grounded.

Постановка задачи. Рассматривается задача восстановления числовой скалярной функции действительных аргументов, однозначно задающей некоторую закономерность, по анализу наблюдаемых данных (вход–выход) ограниченного объема. Иными словами, некоторая закономерность однозначно задается функцией $f(\bar{x})$, не известной наблюдателю. Имеются

результаты пассивного эксперимента $f(\bar{x}^{-i}) = y_i$, $i = \overline{1, P}$, P – небольшое число. По результатам пассивного эксперимента необходимо найти закономерность, то есть найти истинную функцию $f(\bar{x})$, а не её аппроксимацию.

В таком виде задача является некорректной. Будем решать её в следующей частной постановке.

Рассмотрим класс функций

$$\sum_{i=1}^L a_i \psi_i(\bar{x}), \quad (1)$$

где $\psi_i(\bar{x})$ – известные базовые функции, a_i – неизвестные коэффициенты, $\bar{x} \in R_n$ – n -мерный вектор. Множество $I = \{\psi_i(\bar{x}), i = \overline{1, L}\}$ является избыточным. $f(\bar{x})$ – неизвестная функция, является взвешенной суммой на подмножестве $I_1 \subset I$. $f(\bar{x})$ необходимо восстановить по результатам точных экспериментов $\bar{x}^i, f(\bar{x}^i), i = \overline{1, P}, P < L$. Предполагается также, что $P > K$, где K – это число базовых функций в множестве I_1 , то есть искомая закономерность представляется в виде

$$f(\bar{x}) = \sum_{j=1}^K a_j \psi_j(\bar{x}), \quad K < P < L, \quad (2)$$

где $\psi_j(\bar{x}) \in I_1$ и заранее не известны.

Такая постановка задачи имеет место, когда исследователь выдвигает различные предположения о возможном аналитическом представлении неизвестной закономерности. Предложенные алгоритмы решения задачи предполагают, что представление (2) существует; $K < P, P < L$; $I_1 \subset I$, I задано исследователем.

Критерии определения истинной закономерности. Исходя из постановки задачи, такими критериями могут быть:

- множеством $I_1 = \{\Psi_{i_1}(\bar{x}), \dots, \Psi_{i_k}(\bar{x})\}$, для которого выполняется (2), может быть любое подмножество множества I , для которого при условии $K < P$ существуют коэффициенты a_{i_j} такие, что

$$\sum_{i=1}^P \left[f(\bar{x}^i) - \sum_{j=1}^K a_j \Psi_j(\bar{x}^i) \right] = 0; \quad (3)$$

- множеством I_1 является подмножество множества I , удовлетворяющее условиям (3) и содержащее минимальное количество базовых функций; предполагается, что это представление является единственным;
- в предположении, что в реальных задачах подмножеств множества I , удовлетворяющих условиям (3), с вероятностью близкой к единице может быть не более одного, алгоритм ищет первое подмножество множества I , удовлетворяющее условиям (3).

Метод 1. По первому критерию точным решением поставленной задачи является следующая задача частично-целочисленного линейного программирования:

$$\min \sum_{i=1}^L z_i, \quad (4)$$

$$-\alpha \leq f(\bar{x}^l) - \sum_{i=1}^L a_i \psi_i(\bar{x}^l) \leq \alpha, \quad l = \overline{1, P}, \quad (5)$$

$$-N \cdot z_i \leq a_i \leq N \cdot z_i, \quad i = \overline{1, L}, \quad (6)$$

$$z_i \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, L}, \quad (7)$$

где a_i – действительные переменные, z_i – булевы переменные, $N > 0$ – константа, выбираемая исследователем, α – машинный ноль.

Эта задача является труднорешаемой задачей комбинаторной оптимизации. Для обоснования эффективного метода её решения сведём задачу (4)-(7) к следующей задаче линейного целочисленного программирования:

$$\min \sum_{i=1}^L z_i, \quad (8)$$

$$-\alpha \cdot 10^a \leq 10^a f(\bar{x}^l) - \sum_{i=1}^L b_i \psi_i(\bar{x}^l) \leq \alpha \cdot 10^a, \quad l = \overline{1, P}, \quad (9)$$

$$-N \cdot z_i \cdot 10^a \leq b_i \leq N \cdot z_i \cdot 10^a, \quad i = \overline{1, L}, \quad (10)$$

$$z_i \in \{0, 1\}, \quad i = \overline{1, L}, \quad (11)$$

где $b_i = a_i \cdot 10^a$ – целочисленные переменные, z_i – булевы переменные, $N > 0$ – константа, выбираемая исследователем, α – машинный ноль, a – натуральное число, задаваемое исследователем.

Формально задача ЛЦП (8)-(11) сложнее, чем задача (4)-(7), так как в задаче (4)-(7) – L целочисленных переменных, а в задаче (8)-(11) – $2L$ целочисленных переменных. Тем не менее структура задачи ЛЦП (8)-(11) позволяет применить метод решения задачи ЛЦП, который статистически значимо не использует перебор вариантов с отсечениями.

Действительно в [1] разработан и теоретически обоснован новый метод для задачи линейного целочисленного программирования с произвольной ограниченной областью допустимых решений. Предложена оригинальная

схема приведения исходной задачи к задаче с одним ограничением и неотрицательными переменными со специфическими теоретическими свойствами. Принципиальная новизна метода состоит в том, что предложенный точный алгоритм поиска целочисленного решения разработан для исходной задачи с использованием теоретических свойств приведенной задачи (определены постоянные приоритеты каждой переменной исходной задачи, то есть приоритеты переменных не зависят от каких-либо промежуточных значений переменных, что позволяет получить первое допустимое целочисленное решение, которое статистически значимо является оптимальным).

Принципиальным недостатком метода является невозможность определения без перебора с отсекающими всех допустимых решений, является ли первое допустимое целочисленное решение оптимальным. Однако в силу специфики задачи ЛЦП (8)-(11) первому допустимому целочисленному решению задачи ЛЦП (8)-(11), полученного универсальным методом направленного перебора [1], соответствует решение задачи восстановления закономерности по критерию 2, если число ненулевых переменных b_i , $i = \overline{1, L}$ окажется меньше P – числа экспериментов.

Метод 2 (вероятностный). Пусть P – число экспериментов – не на много меньше L – числа базовых функций в множестве I . Тогда в предположении, что K (число базовых функций в множестве I_1) существенно меньше P , с большой вероятностью (легко определяемой как функция от K) следующий метод даёт точное решение по второму критерию.

Этап 1. Случайным образом конструируется последовательность базовых функций

$$\psi_{i_1}(\bar{x}), \psi_{i_2}(\bar{x}), \dots, \psi_{i_L}(\bar{x}). \quad (12)$$

Функции $\psi_{i_{p+1}}(\bar{x}), \dots, \psi_{i_L}(\bar{x})$ исключаются из последовательности (12), получаем последовательность

$$\psi_{i_1}(\bar{x}), \dots, \psi_{i_p}(\bar{x}). \quad (13)$$

В предположении, что базовые функции из множества I_1 находятся в последовательности (13), переходим к этапу 2.

Этап 2. Из последовательности (13) исключается базовая функция $\psi_{i_p}(\bar{x})$ и для оставшихся базовых функций решается задача линейного программирования (ЛП)

$$\min \sum_{l=1}^P y_l, \quad (14)$$

$$-y_l \leq f(\bar{x}^{-}) - \sum_{j=1}^{P-1} a_{ij} \psi_{i_j}(\bar{x}^{-}) \leq y_l, \quad (15)$$

$$y_l \geq 0, \quad l = \overline{1, P}.$$

Переменными задачи (14)-(15) являются a_{ij} , $j = \overline{1, P-1}$ и y_l , $l = \overline{1, P}$.

Если значение показателя качества (14) задачи ЛП (14)-(15) равно 0, то базовая функция $\psi_{i_p}(\bar{x})$ окончательно исключается из последовательности (13), в противном случае $\psi_{i_p}(\bar{x}) \in I_1$. При этом предполагается, что гипотеза, которая легла в основу критерия 2 выполняется.

Описанная процедура повторяется для функции $\psi_{i_{p-1}}(\bar{x})$ и так далее до функции $\psi_{i_1}(\bar{x})$ включительно. Все базовые функции, попавшие в множество I_1 на предыдущих итерациях, участвуют в построении соответствующей текущей итерации задачи ЛП (аналог задачи ЛП (14)-(15)). Искомая закономерность восстанавливается по решению последней задачи ЛП с нулевым показателем качества.

Метод 3 (вероятностный). Вероятность решения исходной задачи с помощью метода 2 определяется как вероятность построения такой последовательности (13), в которую входят все истинные компоненты неизвестной закономерности (обозначим как событие A), то есть:

$$P(A) = \frac{C_{L-K}^{P-K}}{C_L^P}. \quad (16)$$

Если задать верхнюю оценку для числа истинных базовых функций (K), то можно посчитать количество повторов применения метода 2 (количество построений последовательности (12), необходимых для того, чтоб с заданной вероятностью восстановить неизвестную закономерность. А в случае, когда верхняя граница числа истинных базовых функций восстанавливаемой закономерности равняется $(P-1)$ (так как в (2) по исходному предположению должно выполняться $P > K$), то нижняя оценка вероятности попадания неизвестных истинных компонент в последовательность (13) определяется:

$$\underline{P}(A) = \frac{C_{L-K}^{P-K}}{C_L^P} \Big|_{K=P-1} = \frac{L-P+1}{C_L^P}. \quad (17)$$

Таким образом, метод 3 сводится к применению метода 2 необходимое количество раз. Для гарантированного получения точного решения исходной задачи строятся все возможные варианты последовательности (12), то есть метод 2 применяется C_L^P раз.

Заключение. Приведенные в статье методы могут также применяться в случае, когда оценки неизвестной закономерности, полученные в результате проведенных экспериментов, имеют некоторую ошибку ε (случайная величина). При этом во всех методах условия выполнения равенств заменяются на условия выполнения неравенств, по модулю не превышающих δ_1 , а в этапе 2 метода 2 базовая функция принадлежит множеству I_1 , если значение показателя качества не меньше, чем δ_2 (учет влияния ε).

Статистическими исследованиями необходимо определить связь между δ_1 , δ_2 и дисперсией ε , а также верхнюю границу дисперсии ε , при которой изложенные методы остаются эффективными.

Пример. Приведем пример использования метода 2 для восстановления неизвестной закономерности.

Пусть существует закономерность $f(x_1, x_2, x_3, x_4)$, неизвестная исследователю. Её истинное выражение имеет вид (состоит из 5 компонент, $K = 5$):

$$f(x_1, x_2, x_3, x_4) = -5.2 \cdot \frac{1}{x_1^3} - 0.27 \cdot \frac{x_4^2}{x_1 x_2^2} - 16.8 \cdot \frac{x_3 x_4}{x_2} + 14.5 \cdot \frac{x_4}{x_3} - 14.6 \cdot \frac{x_2 x_3^2}{x_1^3} \quad (18)$$

Пусть также проведено 35 экспериментов, в результате которых получены точные оценки неизвестной закономерности ($P = 35$).

Согласно этапу 1 метода 2, не зная истинных компонент и соответствующих коэффициентов функции $f(x_1, x_2, x_3, x_4)$, исследователь сформировал множество из 50 компонент ($L = 50$), возможных составляющих искомой закономерности, которое включает также и компоненты из (18), и упорядочил случайным образом, как показано в табл. 1.

Таблица 1

№	Комп.	№	Комп.	№	Комп.	№	Комп.	№	Комп.
1	$\frac{x_2 x_3^2}{x_1^3}$	11	$\frac{x_1 x_3 x_4}{x_2}$	21	$\frac{1}{x_1^3}$	31	$\frac{x_1^3 x_3^2}{x_2^3 x_4}$	41	$\frac{x_1}{x_3^2 x_4}$
2	$x_1^2 x_4$	12	$\frac{x_2 x_4^2}{x_1^3}$	22	$\frac{x_2 x_3}{x_4}$	32	$\frac{x_2^3}{x_3^2}$	42	$\frac{1}{x_3 x_4^2}$

№	Комп.	№	Комп.	№	Комп.	№	Комп.	№	Комп.
3	$\frac{x_1 x_3 x_4^2}{x_2^2}$	13	$\frac{x_2}{x_1}$	23	$\frac{x_3 x_4}{x_2}$	33	$\frac{x_1 x_4^2}{x_3^3}$	43	$\frac{x_3 x_4}{x_1^2}$
4	$\frac{x_2^2 x_4^3}{x_1}$	14	$\frac{x_4^2}{x_1^2 x_2^2 x_3^2}$	24	x_4	34	$x_1 x_2^2 x_3$	44	$x_1^2 x_2 x_3^4$
5	$\frac{1}{x_1 x_2}$	15	$\frac{x_1 x_4}{x_2^2 x_3}$	25	$\frac{x_2^2}{x_1^2 x_3^3}$	35	$\frac{x_4}{x_3}$	45	$\frac{x_2}{x_4}$
6	$\frac{x_2}{x_1^2 x_3^2 x_4^3}$	16	$\frac{x_2^3 x_3}{x_1^2 x_4}$	26	$\frac{1}{x_1 x_3^2 x_4^2}$	36	$\frac{x_1 x_2}{x_3 x_4}$	46	x_3
7	$x_2 x_3 x_4^2$	17	$\frac{x_4^2}{x_1 x_2^2}$	27	$\frac{x_2 x_4}{x_1^2 x_3}$	37	$\frac{x_2 x_4^2}{x_1^2 x_3}$	47	$\frac{x_1}{x_4^2}$
8	$\frac{x_2 x_3^2}{x_1 x_4^4}$	18	$\frac{x_1 x_3}{x_2 x_4}$	28	$\frac{x_3^3 x_4}{x_2^2}$	38	$\frac{x_1}{x_2 x_4}$	48	$\frac{x_2^3}{x_4}$
9	$\frac{x_3^2 x_4}{x_2^2}$	19	$\frac{x_2^2 x_3}{x_1 x_4}$	29	$x_2 x_3$	39	$\frac{1}{x_3^3}$	49	$\frac{x_2}{x_1^2 x_4^2}$
10	x_2	20	$\frac{1}{x_1^2 x_2^2}$	30	$\frac{x_3}{x_1 x_2 x_4^2}$	40	$\frac{x_2^2 x_3}{x_2}$	50	$\frac{x_4}{x_1 x_3}$

Таким образом, исследователь построил последовательность (12). Далее он получает последовательность (13), оставив первые 35 компонент из таблицы 1. Так как в этом случае P не намного меньше L и намного больше K , истинные компоненты неизвестной функции также попали (поскольку велика вероятность этого события) в последовательность (13).

Согласно этапу 2, из (13) последовательно выбрасываются компоненты с номерами от P ($P=35$) до 1 и решается задача ЛП (14)-(15). При этом, если значение показателя качества (14) равно 0 (в приведенном машинном расчете равенство нулю имеет место в случае, если полученное значение по модулю меньше 10^{-6}), то соответствующая компонента окончательно удаляется из (13), в противном случае компонента возвращается. В табл. 2 приведены

полученные значения показателя качества (14) при последовательной проверке компонент из (13).

Таблица 2

№	Комп.	Показ. качества	№	Комп.	Показ. качества
35	$\frac{x_4}{x_3}$	26.901487	25	$\frac{x_2^2}{x_1^2 x_3^3}$	$-2.211564 \times 10^{-13}$
34	$x_1 x_2^2 x_3$	$-2.664535 \times 10^{-15}$	24	x_4	$-2.211564 \times 10^{-13}$
33	$\frac{x_1 x_4^2}{x_3^3}$	$-1.398881 \times 10^{-14}$	23	$\frac{x_3 x_4}{x_2}$	5.938059×10^2
32	$\frac{x_2^3}{x_3^2}$	$-1.132427 \times 10^{-14}$	22	$\frac{x_2 x_3}{x_4}$	$-2.207123 \times 10^{-13}$
31	$\frac{x_1^3 x_3^2}{x_2^3 x_4}$	1.522393×10^{-14}	21	$\frac{1}{x_1^3}$	19.987640
30	$\frac{x_3}{x_1 x_2 x_4^2}$	1.433575×10^{-14}	20	$\frac{1}{x_1^2 x_2^2}$	$-2.300382 \times 10^{-13}$
29	$x_2 x_3$	1.422473×10^{-14}	19	$\frac{x_2^2 x_3}{x_1 x_4}$	$-2.264854 \times 10^{-13}$
28	$\frac{x_3^3 x_4}{x_2^2}$	$-2.408073 \times 10^{-13}$	18	$\frac{x_1 x_3}{x_2 x_4}$	$-2.295941 \times 10^{-13}$
27	$\frac{x_2 x_4}{x_1^2 x_3}$	$-2.418065 \times 10^{-13}$	17	$\frac{x_4^2}{x_1 x_2^2}$	1.139683
26	$\frac{1}{x_1 x_3^2 x_4^2}$	$-2.418065 \times 10^{-13}$	16	$\frac{x_2^3 x_3}{x_1^2 x_4}$	$-2.176037 \times 10^{-13}$
15	$\frac{x_1 x_4}{x_2^2 x_3}$	$-2.274014 \times 10^{-13}$	7	$x_2 x_3 x_4^2$	$-2.273736 \times 10^{-13}$
14	$\frac{x_4^2}{x_1^2 x_2^2 x_3^2}$	$-2.420286 \times 10^{-13}$	6	$\frac{x_2}{x_1^2 x_3^2 x_4^3}$	$-2.269295 \times 10^{-13}$

Продолжение табл. 2

№	Комп.	Показ. качества	№	Комп.	Показ. качества
13	$\frac{x_2}{x_1}$	$-2.247091 \times 10^{-13}$	5	$\frac{1}{x_1 x_2}$	$-2.273736 \times 10^{-13}$
12	$\frac{x_2^2 x_4^2}{x_1^3}$	$-2.278177 \times 10^{-13}$	4	$\frac{x_2^2 x_4^3}{x_1}$	$-2.255973 \times 10^{-13}$
11	$\frac{x_1 x_3 x_4}{x_2}$	$-2.271516 \times 10^{-13}$	3	$\frac{x_1 x_3 x_4^2}{x_2^2}$	3.085383×10^{-13}
10	x_2	$-2.255973 \times 10^{-13}$	2	$x_1^2 x_4$	2.220446×10^{-13}
9	$\frac{x_3^2 x_4}{x_2^2}$	$-2.264854 \times 10^{-13}$	1	$\frac{x_2 x_3^2}{x_1^3}$	1.182846×10^5
8	$\frac{x_2 x_3^2}{x_1 x_4^4}$	$-2.273736 \times 10^{-13}$			

Таким образом, получили, что закономерность $f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ состоит из компонент с номерами 1, 17, 21, 23, 35. При этом значения коэффициентов при этих компонентах получены в оптимальном решении задачи ЛП (14)-(15) при проверке компоненты 2 – последнем решении задачи ЛП с нулевым показателем качества (приведены в табл. 3).

Таблица 3

№ комп.	Коэффициент
1	-14.625321
17	-0.274560
21	-5.207243
23	-16.829562
35	14.518710

Закономерность $f(x_1, x_2, x_3, x_4)$ восстановлена.

Список литературы: 1. Павлов А. А. Алгоритмическое обеспечение сложных систем управления.– К.: Техника, 1989.

Поступила в редколлегию 15.12.08

Е. Ю. ПОНОМАРЕВА, студентка НТУ «ХПИ»,
Н. И. БЕЗМЕНОВ, канд. техн. наук, профессор НТУ «ХПИ»,
В. Г. БОРИСОВ, канд. техн. наук, доцент НТУ «ХПИ»

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ БИЗНЕС-СИСТЕМЫ КОММЕРЧЕСКОГО МЕДИЦИНСКОГО УЧРЕЖДЕНИЯ

У статті описана розробка системи підтримки прийняття рішень, що дозволяє досить швидко завантажувати і аналізувати дані через багатогранну призму різних умов за короткий проміжок часу. Business Intelligence система розроблена для аналізу даних мережі комерційних медичних установ. За основу узят модель обліку лікарняних рахунків, яка використовується в таких розвинених країнах як США та Великобританія.

В статье описана разработка системы поддержки принятия решений, позволяющая предельно быстро загружать и анализировать данные через многогранную призму различных условий за короткое время. Business Intelligence система разработана для анализа данных сети коммерческих медицинских учреждений. За основу взята модель учета больничных счетов, которая используется в таких развитых странах как США и Великобритания.

In the article has been described development of system of support decision-making. This system allows maximum quickly to load and to analyses information through the many-sided prism of different terms in short time. Business Intelligence system is developed for data analysis of network commercial medical establishments. The model of taking stock of hospital accounts, which has been used in such developed countries as the USA and Great Britain was took as base.

Введение. С нынешним развитием ИТ-индустрии простой автоматизации повседневных процессов недостаточно. Каждый день возникают все новые задачи, для решения которых необходима целая команда квалифицированных специалистов в различных направлениях разработки программного обеспечения. Одной из таких задач является предоставление работникам учреждения программного продукта, позволяющего значительно упростить анализ данных.

Интеллектуальные системы принятия решений (*Business Intelligence*) – программное обеспечение, позволяющее компаниям, используя свои многочисленные базы данных (БД), донести информацию в простом и доступном виде до своих работников, менеджмента и бизнес-партнеров. Эти системы уже используются тысячами компаний при поиске путей повышения доходов, сокращения расходов, перераспределения ресурсов и повышения эффективности оперативной деятельности.

С ростом проблем, с которыми сталкивается отрасль здравоохранения, становятся все актуальней частные коммерческие медицинские организации и клиники, которые должны сохранять лидерство, постоянно находясь хотя бы на один шаг впереди конкурентов. Бизнес-разведка (системы поддержки принятия решений) может помочь медицинским учреждениям, больницам и

плательщиками увеличить конкурентные преимущества путем разработки «умных» бизнес-решений и создание благоприятных деловых решений.

Среди многочисленных способов использования коммерческими медицинскими организациями платформы *Business Intelligence* для принятия «умных» решений во множестве различных задач в медицинской отрасли можно выделить следующие: финансовый анализ; качество исполнения и анализ рисков; маркетинговый анализ; анализ обслуживания пациентов; анализ эксплуатационных характеристик и стоимости управления.

Постановка задачи. Целью работы является разработка элементов бизнес системы коммерческого медицинского учреждения, используя технологии *Business Intelligence (BI)*.

Описание предметной области. Разработана BI-система для анализа данных коммерческих медицинских учреждений (поликлиник). За основу взята модель учета больничных счетов, которая используется в таких развитых странах как США и Великобритания. Необходимо четко понимать все детали и специфику предоставляемых клиентом данных. Условно эта модель может быть представлена как совокупность трех основных финансовых компонентов:

1. *Учетные записи (Accounts)*. В учетных записях содержится информация о пациенте, поставленных ему диагнозах, пройденных им процедурах, датах прибытия и выписки из больницы, врачах, обследовавших пациента, финансовом состоянии лечения и т.д.
2. *Транзакции (Transactions)*. Транзакции – это документированные финансовые операции, подтверждающие оплату больничных услуг.
3. *Начисления (Charges)*. Начисления (сборы) – это документированные финансовые операции, связанные с запросами в страховые компании об оплате (начислениях) больничных услуг.

Определившись со спецификой данных, необходимо разработать реляционную базу данных для их хранения, которая будет соответствовать двум основным требованиям – сохранность данных и возможность их быстрого извлечения. Для этого нужно пересмотреть принятые правила создания реляционных баз данных и исключить компоненты, которые не позволяют добиться максимально возможной скорости чтения данных, заменив их функции, с помощью внедрения более рациональных решений, учитывающих специфику проблемы.

Описание структуры и технологий реализации. Для реализации данной системы была предусмотрена многоуровневая серверная архитектура (см. рис 1).

Для данного решения часть клиента выполнена в виде *WEB*-приложения, что предоставляет гибкий доступ к данным различным пользователям без привязки к конкретному рабочему месту. Обработанные данные представлены в виде отчетов, данных с наложением различных фильтров,

страниц с графиками, страниц с подытоженными данными, а также в полностью развернутом (детальном) виде.

Сервер *Business Intelligence* представляет собой сервер с развернутым продуктом *Microsoft Analysis Services*, при помощи которого спроектировано многомерное хранилище данных. Реляционная база данных (БД) может находиться как на одном сервере с *Analysis Services*, так и на независимом сервере, что выгодней по производительности и обычно проще и целесообразней в реализации. Реляционная БД представляет собой периодически пополняемое хранилище данных с четкой денормализованной архитектурой, запрограммированным процессом Извлечения-Преобразования-Загрузки данных (*ETL process – extraction, transformation, loading*), который полностью или частично обрабатывает при пополнении хранилища данными.

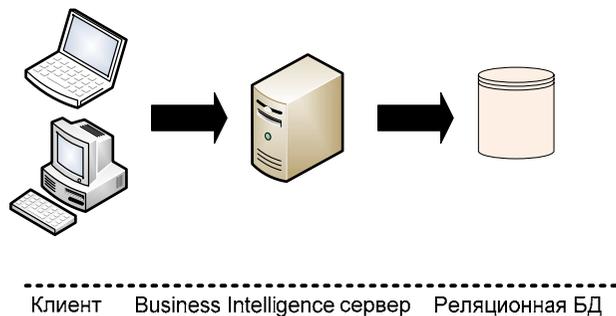


Рис. 1. Многоуровневая серверная архитектура системы бизнес-аналитики

Проектирование ETL модуля. В данной реализации под *ETL* модулем подразумевается набор *sql*-скриптов и/или программного обеспечения работающего в комплексе, на вход которого поступает набор клиентских данных в определенном формате, а результатом его работы являются эти же данные, но очищенные и трансформированные в требуемый формат и загруженные в *SQL* базу данных (см. рис. 2).

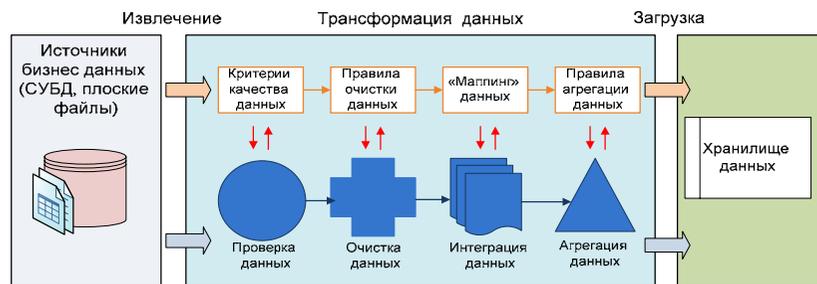


Рис. 2. Обобщенная схема ETL процесса

ETL процесс условно можно разделить на несколько функциональных этапов:

- извлечение данных;
- трансформация данных;
- загрузка данных.

На этапе извлечения выполняется либо запрос к внешней базе данных, либо разбор плоского файла (текстовые файлы, файлы Microsoft Office Excel и т. д.). Во время загрузки происходит сохранение расширенных, очищенных данных в конечных таблицах фактов и многомерной базе данных. Этап трансформации в свою очередь является самым объемным и выполняется в несколько шагов:

1. **Проверка данных.** На данном шаге выполняется проверка данных на их пригодность к последующему использованию в процессе – выполняются проверки, согласно критериям качества, описываемых метаданными.
2. **Очистка данных.** Этот этап позволяет избавиться от «мусора» в данных, а также повысить их качество.
3. **Интеграция данных** представляет собой обновление справочников (словарей), выполнение калькуляций, расчет вычисляемых полей, а также расстановку ключей в таблицах фактов («маппинг»).
4. **Агрегация данных.** Вычисление агрегированных данных.

ETL модуль может повышать качество данных, но никогда не должен никоим образом искажать смысл обрабатываемой информации. Его код должен быть качественным и оптимальным.

Проектирование многомерной базы данных. *SQL* база данных является хранилищем преобразованных клиентских данных и источником данных для *OLAP* уровня и *web*-приложения. Термин «*OLAP*» неразрывно связан с термином «хранилище данных» (*Data Warehouse*). *OLAP (online analytical processing – аналитическая обработка в реальном времени)* представляет собой совокупность средств многомерного анализа данных, накопленных в хранилище.

При проектировании многомерной базы данных использовалась «схема звезды» (см. рис. 3).

Данная схема представляет собой логическую организацию реляционного хранилища данных, при которой модель данных состоит из двух типов таблиц: таблицы фактов, расположенной в «центре» звезды, и несколько таблиц измерений, образующих «лучи». Каждая таблица фактов содержит детальные данные и внешние ключи на таблицы измерений.

Выводы. В данной системе применительно к медицинским учреждениям и коммерческим организациям был реализован специальный набор измерений и метрик, таких как текущий денежный баланс, структурное отделение, ФИО лечащих врачей, диагнозы, процедуры, страховые планы, применяемые

лекарства и медицинские принадлежности, даты поступления и выписки и т.д. При пересечении этих измерений в различных комбинациях можно без особого труда проанализировать следующее: какие лекарства больше всего используются, на какие моменты приходится пик посещаемости каких из отделений, какова текущая задолженность клиентов перед поликлиникой, по какой из страховых компаний максимальная задолженность и т. д.



Рис. 3. Упрощенный пример «схемы звезда»

Таким образом, применение системы *BI* в медицинской отрасли имеет далеко идущие перспективы и позволяет анализировать большие объёмы информации, заостряя внимание пользователей лишь на ключевых факторах эффективности, моделируя исход различных вариантов действий, отслеживая результаты принятия тех или иных решений.

Список литературы: 1. *Kimball R.*. The Data Warehouse Toolkit: Practical Techniques for Building Dimensional Data Warehouses. John Wiley&Sons, 1996 – 367 p. 2. *Larson B.* Delivering Business Intelligence with Microsoft SQL Server 2005. McGraw-Hill/Osborne, 2006. – 792 p. 3. *Thomsen E.* OLAP Solutions: Building Multidimensional Information Systems. Wiley Computer Publishing, 1997. – 608 p. 4. *John C. Hancock; Toreen R.* Practical Business Intelligence with SQL Server 2005. Addison-Wesley Professional, 2006. – 432 p. 5. *Hanson C. W.* Healthcare Informatics. New York: McGraw-Hill, 2006. – 227 p. 6. *Спирли Э.* Корпоративные хранилища данных. Планирование, разработка, реализация. Том.1: Пер. с англ. М.: Вильямс, 2001. – 400 с. 7. *Корнеев В.В., Куреев А.Ф., и др.* Базы данных. Интеллектуальная обработка информации. – М.: Нолидж, 2001. – 352 с.

Поступила в редколлегию 12.01.09

УДК. 519.24

А.А. ПАВЛОВ, д-р техн. наук, проф. каф. АСОИУ НТУУ «КПИ»,
А.В. ЧЕХОВСКИЙ, студент каф. АСОИУ НТУУ «КПИ»

ПОСТРОЕНИЕ МНОГОМЕРНОЙ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ РЕГРЕССИИ. АКТИВНЫЙ ЭКСПЕРИМЕНТ С ОГРАНИЧЕНИЯМИ

Обґрунтовується можливість зведення задачі побудови багатовимірної поліноміальної регресії к послідовності одновимірних регресійних задач в умовах обмеженого активного експерименту і вирішенню відповідних систем алгебраїчних рівнянь з постійними коефіцієнтами.

Обосновывается возможность сведения задачи построения многомерной полиномиальной регрессии к последовательности одномерных регрессионных задач в условиях ограниченного активного эксперимента и решению соответствующих систем алгебраических уравнений с постоянными коэффициентами.

In the article there has been substantiated the possibility of solving a multi-dimensional polynomial regression problem as a sequence of one-dimensional regression problems in a limited experiment and solving the relevant systems of algebraic equations with constant coefficients.

Проблема эффективного восстановления полиномиальной регрессии по настоящее время является актуальной [1-4]. Использование нормированных ортогональных полиномов Форсайта, с учётом рекуррентной формулы их построения [3] позволяет предложить эффективный метод построения многомерной полиномиальной регрессии. Он базируется на следующем анализе построения одномерной полиномиальной регрессии с помощью нормированных ортогональных полиномов Форсайта [3]:

Рассмотрим одномерную модель

$$Y(x) = \theta_0 + \theta_1 x + \dots + \theta_r x^r + E, \quad (1)$$

где x – детерминированная переменная, значение которой в экспериментах исследователь может задавать произвольно. $\theta_j, j = \overline{0, r}$ – неизвестные коэффициенты, r может быть избыточно большим, E – случайная величина с произвольным распределением, σ_E^2 неизвестна, либо существует её верхняя оценка σ^2 . По результатам экспериментов $(x_i, y_i, i = \overline{1, n})$ нужно найти истинное значение r и оценить значение коэффициентов $\theta_j, j = \overline{0, r}$.

Были построены таблицы для оценки дисперсий $\theta_j, j = \overline{0, r}$ для случая, когда значения детерминированного аргумента $x_i, i = \overline{1, n}$ равномерно распределены внутри отрезка с концами $(-a, a), a > 0$.

Фрагмент одной из них представлен таблицей 1.

Таблица 1

n	0	1	2	3	4	5
10	$\sigma^2 \cdot 0,4005$	$\sigma^2 \cdot 0,002$	$\sigma^2 \cdot 4,26 \cdot 10^{-06}$	$\sigma^2 \cdot 7,55 \cdot 10^{-09}$	$\sigma^2 \cdot 1,41 \cdot 10^{-12}$	$\sigma^2 \cdot 1,28 \cdot 10^{-15}$
50	$\sigma^2 \cdot 0,0706$	$\sigma^2 \cdot 0,0005$	$\sigma^2 \cdot 4,53 \cdot 10^{-07}$	$\sigma^2 \cdot 1,15 \cdot 10^{-09}$	$\sigma^2 \cdot 9,28 \cdot 10^{-14}$	$\sigma^2 \cdot 1,43 \cdot 10^{-16}$
100	$\sigma^2 \cdot 0,0352$	$\sigma^2 \cdot 0,0002$	$\sigma^2 \cdot 2,22 \cdot 10^{-07}$	$\sigma^2 \cdot 5,68 \cdot 10^{-10}$	$\sigma^2 \cdot 4,47 \cdot 10^{-14}$	$\sigma^2 \cdot 7,02 \cdot 10^{-17}$
200	$\sigma^2 \cdot 0,0176$	$\sigma^2 \cdot 0,0001$	$\sigma^2 \cdot 1,10 \cdot 10^{-07}$	$\sigma^2 \cdot 2,84 \cdot 10^{-10}$	$\sigma^2 \cdot 2,21 \cdot 10^{-14}$	$\sigma^2 \cdot 3,50 \cdot 10^{-17}$
300	$\sigma^2 \cdot 0,0117$	$\sigma^2 \cdot 7,66 \cdot 10^{-05}$	$\sigma^2 \cdot 7,36 \cdot 10^{-08}$	$\sigma^2 \cdot 1,89 \cdot 10^{-10}$	$\sigma^2 \cdot 1,47 \cdot 10^{-14}$	$\sigma^2 \cdot 2,33 \cdot 10^{-17}$
500	$\sigma^2 \cdot 0,0070$	$\sigma^2 \cdot 4,59 \cdot 10^{-05}$	$\sigma^2 \cdot 4,41 \cdot 10^{-08}$	$\sigma^2 \cdot 1,13 \cdot 10^{-10}$	$\sigma^2 \cdot 8,82 \cdot 10^{-15}$	$\sigma^2 \cdot 1,40 \cdot 10^{-17}$
1000	$\sigma^2 \cdot 0,0035$	$\sigma^2 \cdot 2,30 \cdot 10^{-05}$	$\sigma^2 \cdot 2,21 \cdot 10^{-08}$	$\sigma^2 \cdot 5,67 \cdot 10^{-11}$	$\sigma^2 \cdot 4,41 \cdot 10^{-15}$	$\sigma^2 \cdot 6,99 \cdot 10^{-18}$
5000	$\sigma^2 \cdot 0,0007$	$\sigma^2 \cdot 4,59 \cdot 10^{-06}$	$\sigma^2 \cdot 4,41 \cdot 10^{-09}$	$\sigma^2 \cdot 1,13 \cdot 10^{-11}$	$\sigma^2 \cdot 8,82 \cdot 10^{-16}$	$\sigma^2 \cdot 1,40 \cdot 10^{-18}$
10000	$\sigma^2 \cdot 0,0004$	$\sigma^2 \cdot 2,30 \cdot 10^{-06}$	$\sigma^2 \cdot 2,21 \cdot 10^{-09}$	$\sigma^2 \cdot 5,67 \cdot 10^{-12}$	$\sigma^2 \cdot 4,41 \cdot 10^{-16}$	$\sigma^2 \cdot 6,99 \cdot 10^{-19}$

Значения $x_i, i = \overline{1, n}$ распределены с равным шагом по отрезку $(-50,0; 50,0)$

Таблица построена для линии регрессии заданной полиномом пятого порядка. В первой колонке фиксируются различные значения n (количество значений детерминированного аргумента x). В колонках с номером $j (j = \overline{0, 5})$ заданы дисперсии коэффициентов $\hat{\theta}_j, j = \overline{0, 5}$, как функция σ^2 (σ^2 - это дисперсия E либо её верхняя оценка). Для построения таблицы были найдены все ортогональные полиномы $Q_j(x), j = \overline{0, 5}$ (использовались рекуррентные формулы построения нормированных ортогональных полиномов [3], сводя модель (1) к эквивалентной

$$Y(x) = \sum_{j=0}^r \omega_j Q_j(x) + E, \quad (2)$$

где $Q_j(x), j = \overline{0, r}$ - j -й нормированный ортогональный полином), а также дисперсии $\hat{\theta}_j$, выраженные через σ_E^2 (либо σ^2).

Приведем качественный анализ таблицы 1. На качественном уровне этот анализ не зависит от величины $a > 0$ отрезка разбиения $(-a, a)$ и величин r - степени полинома [1,2]. Этот результат подтвержден экспериментально.

1. Приведенные значения дисперсий $\hat{\theta}_j, j = \overline{0, 5}$ становятся конструктивными, если известна верхняя оценка σ_E^2 дисперсии E . Порядок σ_E^2 можно определить по реализации случайной величины.

$$R^T R = \sum_{i=1}^n Y_i^1 - \sum_{j=0}^r W_j^2,$$

так как

$$M \frac{R^T R}{n - (r + 1)} = \sigma_E^2.$$

Далее будет показано, что истинное значение r находят очевидным образом.

2. Чем больше j тем меньше $\hat{\theta}_j$ при фиксированном n . Действительно, при $n = 10$

$$D\hat{\theta}_0 = \sigma^2 \cdot 0.400466, D\hat{\theta}_1 = \sigma^2 \cdot 0.0024855, \\ D\hat{\theta}_2 = \sigma^2 \cdot 4.26 \cdot 10^{-6}, \dots, D\hat{\theta}_5 = \sigma^2 \cdot 1.28 \cdot 10^{-15}$$

т. е. с увеличением j значение $D\hat{\theta}_j$ уменьшается на порядок. Из этого вытекает следующий результат:

3. По минимальному количеству испытаний можно определить истинную степень полинома линии регрессии. В нашем примере при $n = 10$ дисперсия коэффициента при $x^2 \hat{\theta}_2$ уже равна $\sigma^2 \cdot 4,26 \cdot 10^{-6}$. Т.е. если истинная линия регрессии прямая, то реально оценками $\hat{\theta}_2, \hat{\theta}_3, \hat{\theta}_4, \hat{\theta}_5$ будут нули с точностью до соответствующих знаков после запятой (закон 3 сигм).

4. Необходимое количество испытаний n определяется заданной точностью для нахождения $\hat{\theta}_j$ с наименьшим $j (j = 0)$. Если эксперименты являются дорогими, то реально эффективно оценивать $\hat{\theta}_j$ нужно начиная с $j = 1$ (из анализа таблицы 1 видно, что значения дисперсий $D\hat{\theta}_0$ и $D\hat{\theta}_1$ одного порядка достигаются на числе экспериментов отличающихся на два порядка).

Таким образом, точность оценки θ_0 необходимо связывать с полученной числовой оценкой θ_0 (чем больше по модулю это значение, тем достовернее полученный результат). Если оценка θ_0 оказывается недостаточно точной, то полученное выражение для линии регрессии необходимо использовать в тех задачах, для решения которых величина θ_0 не имеет значения (например, сравнение значений линии регрессии для различных значений ее аргумента).

В некоторых задачах массив $x_i, i = \overline{1, n}$ может быть задан заранее и экспериментатор не может его изменить. Тогда до проведения эксперимента

можно найти дисперсии $Q_j(x), j=0, r$ (r можно задать избыточным) и провести предварительный анализ будущих результатов эксперимента.

При всей эффективности изложенного подхода могут иметь место случаи (например, в теории принятия решений), когда на вход объекта может подаваться последовательность x_1, x_2, \dots, x_r , которая может неоднократно повторяться.

Как показывают численные исследования, и в этом случае использование нормированных ортогональных полиномов приводит к эффективному решению задачи восстановления полиномиальной линии регрессии до степени $r-1$ включительно. Так, например, в таблице 2 (аналог таблицы 1) заданы дисперсии коэффициентов для случая полинома 5-й степени и повторяющейся серии, состоящей из 6 значений.

Таблица 2

n	0	1	2	3	4	5
10	$\sigma^2 \cdot 0,5$	$\sigma^2 \cdot 0,003$	$\sigma^2 \cdot 1,88 \cdot 10^{-05}$	$\sigma^2 \cdot 1,418 \cdot 10^{-08}$	$\sigma^2 \cdot 1,268 \cdot 10^{-11}$	$\sigma^2 \cdot 5,837 \cdot 10^{-15}$
50	$\sigma^2 \cdot 0,125$	$\sigma^2 \cdot 0,0006$	$\sigma^2 \cdot 3,977 \cdot 10^{-06}$	$\sigma^2 \cdot 3,467 \cdot 10^{-09}$	$\sigma^2 \cdot 2,547 \cdot 10^{-12}$	$\sigma^2 \cdot 1,308 \cdot 10^{-15}$
100	$\sigma^2 \cdot 0,059$	$\sigma^2 \cdot 0,0003$	$\sigma^2 \cdot 1,893 \cdot 10^{-06}$	$\sigma^2 \cdot 1,659 \cdot 10^{-09}$	$\sigma^2 \cdot 1,219 \cdot 10^{-12}$	$\sigma^2 \cdot 6,265 \cdot 10^{-16}$
200	$\sigma^2 \cdot 0,030$	$\sigma^2 \cdot 0,00016$	$\sigma^2 \cdot 9,641 \cdot 10^{-07}$	$\sigma^2 \cdot 8,506 \cdot 10^{-10}$	$\sigma^2 \cdot 6,183 \cdot 10^{-13}$	$\sigma^2 \cdot 3,197 \cdot 10^{-16}$
300	$\sigma^2 \cdot 0,02$	$\sigma^2 \cdot 0,0001$	$\sigma^2 \cdot 6,363 \cdot 10^{-07}$	$\sigma^2 \cdot 5,638 \cdot 10^{-10}$	$\sigma^2 \cdot 4,082 \cdot 10^{-13}$	$\sigma^2 \cdot 2,116 \cdot 10^{-16}$
500	$\sigma^2 \cdot 0,012$	$\sigma^2 \cdot 6,187 \cdot 10^{-05}$	$\sigma^2 \cdot 3,833 \cdot 10^{-07}$	$\sigma^2 \cdot 3,39 \cdot 10^{-10}$	$\sigma^2 \cdot 2,459 \cdot 10^{-13}$	$\sigma^2 \cdot 1,273 \cdot 10^{-16}$
1000	$\sigma^2 \cdot 0,006$	$\sigma^2 \cdot 3,08 \cdot 10^{-05}$	$\sigma^2 \cdot 1,907 \cdot 10^{-07}$	$\sigma^2 \cdot 1,688 \cdot 10^{-10}$	$\sigma^2 \cdot 1,224 \cdot 10^{-13}$	$\sigma^2 \cdot 6,340 \cdot 10^{-17}$
5000	$\sigma^2 \cdot 0,001$	$\sigma^2 \cdot 6,168 \cdot 10^{-06}$	$\sigma^2 \cdot 3,819 \cdot 10^{-08}$	$\sigma^2 \cdot 3,383 \cdot 10^{-11}$	$\sigma^2 \cdot 2,45 \cdot 10^{-14}$	$\sigma^2 \cdot 1,270 \cdot 10^{-17}$
10000	$\sigma^2 \cdot 0,0005$	$\sigma^2 \cdot 3,083 \cdot 10^{-06}$	$\sigma^2 \cdot 1,909 \cdot 10^{-08}$	$\sigma^2 \cdot 1,691 \cdot 10^{-11}$	$\sigma^2 \cdot 1,225 \cdot 10^{-14}$	$\sigma^2 \cdot 6,348 \cdot 10^{-18}$

Пример 1.

Истинная модель имеет вид $y(x) = 10 + 20x + 30x^2 + 20x^3 + 10x^4 + E$.

Регрессионная модель всегда должна задаваться избыточной. В нашем примере исследователь знает, что регрессионная модель является полиномом не выше пятой степени. Случайная E имеет нулевое математическое ожидание, нормальное распределение $\sigma_E = 50$.

6 чисел в повторяющейся серии входов x_i равномерно распределены по отрезку $(-50, 50)$, начиная с -50 с шагом $\frac{100}{6}$.

Для генерации значений случайной величины E использована часть библиотеки расширений для C++ boost.

http://www.boost.org/doc/libs/1_36_0/libs/random/index.html

Результаты эксперимента:

Одномерная регрессия, нормальное распределение ($\sigma_E = 50$)

Исходные коэффициенты:

(10,20,30,20,10,0)

$n=10$

Ортогональные полиномы:

$$Q_0(x) = 0.316228$$

$$Q_1(x) = 0.180361 + 0.0120241x$$

$$Q_2(x) = -0.271626 + 0.0103967x + 0.000466447x^2$$

$$Q_3(x) = -0.294061 - 0.0239033x + 0.000616654x^2 + 2.15916 \cdot 10^{-5}x^3$$

$$Q_4(x) = 0.165413 - 0.0401629x - 0.00151391x^2 + 4.42556 \cdot 10^{-5}x^3 + 1.16256 \cdot 10^{-6}x^4$$

$$Q_5(x) = 0.424094 + 0.0242158x - 0.00398861x^2 - 0.000108399x^3 + 3.36646 \cdot 10^{-6}x^4 + 7.63981 \cdot 10^{-8}x^5$$

Оценки коэффициентов:

(25.7146, 15.5441, 30.0167, 20.0079, 9.99998, -2.59867 · 10⁻⁰⁶)

Дисперсии коэффициентов:

(1250, 7.55875, 0.0469969, 3.54375 · 10⁻⁰⁵, 3.17115 · 10⁻⁰⁸, 1.45917 · 10⁻¹¹)

$n=50$

Ортогональные полиномы:

$$Q_0(x) = 0.141421$$

$$Q_1(x) = 0.0476467 + 0.00492897x$$

$$Q_2(x) = -0.152967 + 0.00357302x + 0.000204553x^2$$

$$Q_3(x) = -0.108869 - 0.010968x + 0.0002378x^2 + 9.25692 \cdot 10^{-6}x^3$$

$$Q_4(x) = 0.131529 - 0.0149956x - 0.000720587x^2 + 1.68945 \cdot 10^{-5}x^3 + 4.94883 \cdot 10^{-7}x^4$$

$$Q_5(x) = 0.224005 + 0.0160263x - 0.00183274x^2 - 5.56429 \cdot 10^{-5}x^3 + 1.51741 \cdot 10^{-6}x^4 + 3.61598 \cdot 10^{-8}x^5$$

Оценки коэффициентов:

(-2.14096, 18.2325, 30.0273, 20.0024, 9.99999, -7.8455 · 10⁻⁰⁷)

Дисперсии коэффициентов:

(312.5, 1.59767, 0.00994141, 8.66813 · 10⁻⁰⁶, 6.36862 · 10⁻⁰⁹, 3.26884 · 10⁻¹²)

В таблице 3 приведены оценки коэффициентов (точное значение которых равно 10,20,30,20,10,0 соответственно) для числа испытаний 10; 50; 100; 200; 300; 500; 1000; 5000; 10000. В наборе испытаний повторяется серия входных значений длиной 6 значений.

Таблица 3

	$\theta_0=10$	$\theta_1=20$	$\theta_2=30$	$\theta_3=20$	$\theta_4=10$	$\theta_5=0$
10	15.0406	24.1986	29.9586	19.9937	10.0001	$2.95043 \cdot 10^{-06}$
30	23.386	20.2097	29.9182	19.9962	10.0001	$2.37303 \cdot 10^{-06}$
50	30.578	19.6912	29.8692	19.9975	10.0001	$2.33215 \cdot 10^{-06}$

60	24.1369	20.9136	29.9141	19.997	10.0001	1.66418·10 ⁻⁰⁶
70	14.9404	20.2851	30.0798	20.0011	9.99993	-1.2811·10 ⁻⁰⁶
80	2.98935	19.1196	29.977	20.0007	10	-5.87023·10 ⁻⁰⁹
90	5.00373	18.4626	29.9589	20.0003	10.0001	8.49835·10 ⁻⁰⁷
100	10.8082	22.1	29.9784	19.9969	10	1.25764·10 ⁻⁰⁶
110	10.6553	21.8771	29.9152	19.9952	10.0001	2.43644·10 ⁻⁰⁶
120	10.6901	19.5917	30.0119	20.0011	9.99999	-5.49008·10 ⁻⁰⁷
150	10.588	20.1336	30.0241	20.0004	9.99998	-3.7002·10 ⁻⁰⁷
200	-4.46675	19.2351	30.0359	20.0016	9.99998	-5.67059·10 ⁻⁰⁷
300	4.80789	19.4225	30.0078	20.0006	10	-1.31689·10 ⁻⁰⁷
500	9.80126	20.1821	29.9964	19.9997	10	1.43024·10 ⁻⁰⁷

Рассмотрим многомерный случай.

Возможность для одномерного случая практически гарантировано находить степень полинома линии регрессии, вычислять с допустимой вероятностью с заданной погрешностью коэффициенты этого полинома позволяют предложить достаточно эффективную процедуру восстановления многомерной полиномиальной линии регрессии (при условии реализации активного эксперимента).

Пусть многомерная модель задаётся в виде

$$y(\bar{x}) = \sum_{\forall(i_1, \dots, i_l) \in K} \sum_{\forall(j_1, \dots, j_l) \in K(i_1, \dots, i_l)} b_{i_1, \dots, i_l}^{j_1, \dots, j_l} (x_{i_1})^{j_1} \cdot (x_{i_2})^{j_2} \dots (x_{i_l})^{j_l} + E, \quad (3)$$

где $\bar{x} = (x_1 \dots x_n)^T$ - детерминированный вектор входных переменных, x_i - i -я компонента вектора \bar{x} , $b_{i_1, \dots, i_l}^{j_1, \dots, j_l}$ - неизвестные коэффициенты, j_l, i_l - натуральные числа; E - случайная величина с нулевым математическим ожиданием и ограниченной неизвестной дисперсией σ_E^2 (как и в одномерном случае возможно известна верхняя оценка σ^2).

Модель (3) является избыточной - возможно некоторые из коэффициентов $b_{i_1, \dots, i_l}^{j_1, \dots, j_l}$ равны нулю. Для удобства дальнейшего изложения линию регрессии модели (3) представим иначе.

$$\sum_{l=1}^n \sum_{\forall(i_1, \dots, i_l) \in K_l} \sum_{\forall(j_1, \dots, j_l) \in K_l(i_1, \dots, i_l)} b_{i_1, \dots, i_l}^{j_1, \dots, j_l} (x_{i_1})^{j_1} \cdot (x_{i_2})^{j_2} \dots (x_{i_l})^{j_l}. \quad (4)$$

$$\sum_{\forall(i_1, \dots, i_l) \in K_l} \sum_{\forall(j_1, \dots, j_l) \in K_l(i_1, \dots, i_l)} b_{i_1, \dots, i_l}^{j_1, \dots, j_l} (x_{i_1})^{j_1} \cdot (x_{i_2})^{j_2} \dots (x_{i_l})^{j_l} \quad (5)$$

содержит все слагаемые из (3), в каждую из которых входит компонента x_1 , а составляющие

$$\sum_{\forall(i_1, \dots, i_l) \in K_l} \sum_{\forall(j_1, \dots, j_l) \in K_l(i_1, \dots, i_l)} b_{i_1, \dots, i_l}^{j_1, \dots, j_l} (x_{i_1})^{j_1} \cdot (x_{i_2})^{j_2} \dots (x_{i_l})^{j_l}, l = \overline{2, n} \quad (6)$$

содержат все слагаемые из (3), в каждую из которых входит компонента x_l , за исключением тех составляющих, которые вошли в (4) и (5) для $\forall(i_1, \dots, i_l) \in K_m \forall(j_1, \dots, j_l) \in K_m(i_1, \dots, i_l), m = \overline{1, l-1}$.

Рассмотрим составляющую (5).

Обозначим через $M_j^1, j = \overline{1, n_1}$ количество слагаемых, каждая из которых содержит x_1 в j -й степени.

$$M^1 = \max_j M_j^1, j = \overline{1, n_1},$$

n_1 - максимальная степень полинома от переменной x_1 .

Фиксируем M^1 наборов значений компонент $x_2^s \dots x_n^s, s = \overline{1, M^1}$. На числа $x_i^s, i = \overline{2, n}, s = \overline{1, M^1}$ накладывается единственное условие - определенные ниже квадратные матрицы должны быть невырожденными.

Реализуем M^1 экспериментов в каждом из которых (s -м, $s = \overline{1, M^1}$) переменные $x_2 \dots x_n$ принимают фиксированные значения $x_i^s, i = \overline{2, n}$ а переменная x_1 изменяется повторяющимися сериями, как это было описано для случая построения одномерной регрессии.

При фиксированных значениях переменных $x_2 \dots x_n$ в s -м эксперименте ($s = \overline{1, M^1}$) многомерная линия регрессии превращается в полином от переменной x_1 степени n_1 .

Погрешность оценок точных значений коэффициентов линии регрессии находят либо с использованием закона трёх сигм (при этом предполагается, что верхняя оценка DE известна), либо эмпирическим способом, который заключается в следующем:

При последовательном вычислении коэффициентов линии регрессии, как функции числа экспериментов, добаваются монотонного увеличения числа постоянных разрядов после запятой в значениях оценок коэффициентов. Эти

разряды и задают эмпирическую оценку точности вычислений коэффициентов линии регрессии.

По всем экспериментам ($s = \overline{1, M^1}$) оценки $\hat{\theta}_j^s, j = \overline{1, n_1}$ ранжируем по возрастанию их погрешностей при фиксированном j . Получим n_1 проранжированных последовательностей оценок коэффициентов $\theta_j^{s_1}, \dots, \theta_j^{s_{M^1}}$ ($j = \overline{1, n_1}$).

Эти результаты позволяют сформировать n_1 систем линейных уравнений, решениями которых являются значения всех коэффициентов $b_{i_1 \dots i_l}^{j_1 \dots j_l}$ в выражении (5), кроме коэффициента – константы.

Действительно в каждом из s экспериментов, неизвестные коэффициенты $\theta_j^s (j = \overline{1, n_1})$ одномерной полиномиальной регрессии степени n_1 от переменной x_1 определяются следующим образом: необходимо из всех членов выражения (содержащих переменную x_1 в степени j) вынести x_1^j . Полученное выражение для θ_j^s содержит только M_1^1 неизвестных коэффициентов вида $b_{i_1 \dots i_l}^{j_1 \dots j_l}$, т. к. в каждом s -м эксперименте при изменении значений переменной x_1 переменные $x_i, i = \overline{2, n}$ принимают одно и тоже фиксированное значение $x_i^s, i = \overline{2, n}$. Таким образом для построения системы линейных уравнений для нахождения M_1^1 коэффициентов вида $b_{i_1 \dots i_l}^{j_1 \dots j_l}$ надо использовать первые M_1^1 чисел $\theta_j^{s_1}, \dots, \theta_j^{s_{M^1}}$ (они имеют наименьшую дисперсию).

Для определения верхних оценок точности нахождения M_1^1 коэффициента вида $b_{i_1 \dots i_l}^{j_1 \dots j_l}$, полученную систему линейных уравнений условно запишем так:

$$A \begin{pmatrix} x_1 \\ \vdots \\ x_{M_1^1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{\theta}_1^{s_1} \\ \vdots \\ \hat{\theta}_1^{s_{M_1^1}} \end{pmatrix}, \quad (7)$$

где $x_l, l = \overline{1, M_1^1}$ - переменные (соответствующие M_1^1 переменным вида $b_{i_1 \dots i_l}^{j_1 \dots j_l}$).

Пусть погрешность оценок $\hat{\theta}_l^{s_l}, l = \overline{1, M_1^1}$ по модулю не превышает чисел $\Delta_l^{s_l}, l = \overline{1, M_1^1}$. Тогда максимальная (точная либо эмпирическая) величина

погрешности нахождения точных значений M_1^1 соответствующих коэффициентов вида $b_{i_1 \dots i_l}^{j_1 \dots j_l}$ имеет вид:

$$\max_{j=1, M_1^1} \{ \max(\sum^{(+)} a_{jl}^{-1} \Delta_l^{s_l}, \sum^{(-)} |a_{jl}^{-1}| \Delta_l^{s_l}) \}, \quad (8)$$

где $\sum^{(+)} a_{jl}^{-1} \Delta_l^{s_l}$ берется по всем $l = \overline{1, M_1^1}$, для которых $a_{jl}^{-1} \geq 0$; $\sum^{(-)} a_{jl}^{-1} \Delta_l^{s_l}$ берется по всем $l = \overline{1, M_1^1}$ для которых $a_{jl}^{-1} < 0$; a_{jl}^{-1} - jl -й элемент матрицы A^{-1} .

Как указывалось выше, предполагается, что $x_i^s, i = \overline{2, n}, s = \overline{1, M_1^1}$ выбраны так, что матрица A^{-1} существует.

Аналогично строятся все остальные системы линейных уравнений (правыми частями которых являются столбцы $(\hat{\theta}_1^{s_1} \dots \hat{\theta}_1^{s_{M_1^1}})^T, l = \overline{2, n_1}$) для нахождения всех остальных коэффициентов $b_{i_1 \dots i_l}^{j_1 \dots j_l}$ из выражения (5). Аналогично строятся все оценки вида (8).

Процедуры нахождения всех неизвестных коэффициентов $b_{i_1 \dots i_l}^{j_1 \dots j_l}$ из выражений (6) для $l = \overline{2, n_1}$ полностью повторяют процедуру изложенную для выражения (5).

Оценка константы в выражении (3) может быть получена как среднее арифметическое по всем проведенным испытаниям разностей $y_i - (\hat{y}(x_i) - \theta_0)$, где y_i - значение выходной переменной модели, когда на вход подается векторное значение \bar{x}_i , а выражение $\hat{y}(x_i) - \theta_0$ - это значение выражения (4) для \bar{x}_i , из которой исключен коэффициент θ_0 и вместо коэффициентов $b_{i_1 \dots i_l}^{j_1 \dots j_l}$ подставлены полученные их оценки.

Если верхняя оценка σ_E^2 не известна, то её можно эффективно оценить как среднее арифметическое оценок σ_E^2 по всем одномерным регрессиям.

Обобщения.

Очевидно, что полученные результаты применимы для случая, когда в выражении (3) вместо переменных x_1, \dots, x_n поставить переменные z_1, \dots, z_m $m < n$, где $z_j = f_j(\bar{x}_j)$, $j = \overline{1, m}$ где компонентами векторов \bar{x}_j являются компоненты вектора \bar{x} , и множества компонент векторов $\bar{x}_j, j = \overline{1, m}$ не пересекаются. f_j - непрерывные функции, ограниченные при ограниченных значениях своих аргументов.

Задача построения многомерной регрессии очевидным образом обобщается на случай, когда при построении одномерных регрессий на модель действуют разные случайные величины E_l (l – номер одномерной регрессии). $ME_l = 0, DE_l = \sigma_{E_l}^2 < \infty$. В общем виде распределения случайных величин E_l (при фиксированном l) могут не совпадать между собой. Анализ формул показывает, что при построении одномерных регрессий в экспериментах на регрессионную модель аддитивно могут воздействовать независимые случайные величины E_l с различными распределениями, имеющие нулевые математические ожидания и одинаковые дисперсии, для фиксированного l . Для разных l дисперсии $\sigma_{E_l}^2$ могут быть различными.

Пример 2. (многомерная регрессия)

Исходная модель линии регрессии задаётся в виде следующего избыточного полинома:

$$y = 30 + 20x_1 + 25x_2 + 5x_3 + 10x_1x_2 + 7x_2^2 + 8x_1^2x_2 + 22x_1x_3 + 0x_2^2x_3^2 + 0x_1x_2x_3 + E. \quad (9)$$

Обозначим через $a_0, a_1, a_2, \dots, a_9$ коэффициенты линии регрессии, которые считаются неизвестными.

E – случайная величина, имеющая нормальное распределение $ME=0, \sigma_R^2=50$.

В этом примере $K_1 = \{1; 1,2; 1,3; 1,2,3\}$; $K_1(1) = 1$; $K_1(1,2) = \{1,1; 2,1\}$; $K_1(1,3) = \{1,1\}$; $K_1(1,2,3) = \{1,1,1\}$. Аналогично определяются все $K_l, K_l(i_1, \dots, i_l), l = 2, 3$.

Для переменной x_1 последовательно фиксируются 4 пары значений x_2, x_3 , и для каждой из них восстанавливается одномерная регрессия от переменной x_1 , коэффициенты которой позволяют составить:

- систему из четырёх равенств для нахождения коэффициентов a_1, a_4, a_7, a_9 (коэффициенты в (9) при x_1 в первой степени);

- одно равенство для нахождения a_6 (коэффициент в (9) при x_1 во второй степени);

Для переменной x_2 последовательно фиксируются 2 пары значений x_1, x_3 , и для каждой из них восстанавливается одномерная регрессия от переменной x_2 . Составляется равенство для нахождения коэффициента a_2 , а также система из двух уравнений для нахождения a_5, a_8 . Затем для переменной x_3 фиксируется пара значений x_1, x_2 , и для неё восстанавливается одномерная регрессия от переменной x_3 , что позволяет найти оставшийся коэффициент a_3 .

В таблице 4 приведены оценки точных коэффициентов многомерной регрессии, полученные для различного количества числа экспериментов n для

каждой одномерной регрессии, при этом на вход подавались повторяющиеся серии из 5 элементов.

Выводы.

В статье приведен конструктивный метод восстановления многомерной полиномиальной регрессии, представленной избыточным описанием, с использованием ограниченного активного эксперимента. Показано, что при использовании нормированных ортогональных полиномов Форсайта эту задачу можно свести к последовательности задач восстановления одномерных регрессий и решению систем линейных уравнений с постоянными коэффициентами. На основе анализа проведенных вычислительных экспериментов приведены конкретные практические рекомендации по использованию предложенного метода.

Таблица 4

Кол-во испытаний	Исходные коэффициенты				
	30 (a_0)	20 (a_1)	25 (a_2)	5 (a_3)	10 (a_4)
	Оценки коэффициентов				
10	10.5772	12.4504	22.8376	3.16269	8.87862
50	13.2718	20.2274	25.3698	5.64317	9.66775
60	33.9547	20.7736	20.8223	4.46369	9.8577
70	-40.7656	18.5612	17.1159	0.55941	10.3737
80	20.0037	19.4024	24.9283	4.04724	9.96117
90	6.20488	19.3809	9.38889	5.13412	10.488
100	48.7494	19.2368	21.5281	3.38334	9.89669
110	37.6077	20.007	24.0356	5.50484	10.0555
120	30.6137	20.0776	25.4948	4.85337	10.0752
130	29.3955	19.8699	24.9731	3.72106	10.1493
140	31.2402	20.5324	24.725	4.83088	10.1734
150	32.9463	19.9379	25.1489	4.87948	10.0259
160	15.6351	19.5216	24.8536	4.52153	10.0786
170	72.9976	14.7554	25.2271	-1.5704	8.93467
180	32.0477	19.9483	25.0244	5.24743	10.0251
190	31.9689	20.3207	25.1918	5.2927	10.0511
200	34.8878	19.9577	25.1329	5.49405	9.97445
210	27.4535	19.8989	24.6718	4.60196	9.95048
220	26.0901	20.4691	22.2607	7.24466	10.1058
230	33.8137	19.5863	24.1966	4.25518	9.96735

240	20.1789	18.7338	27.139	7.25653	10.142
250	29.0536	20.1413	25.0356	5.17554	9.97691
10	7.02319	7.9899	22.8982	-0.0014	0.1062
50	7.00446	7.96222	22.2583	0.0001	-0.4694
60	6.9918	7.99977	21.8531	-1.6·10 ⁻⁰⁵	0.0395
70	5.47399	7.9944	22.038	0.0164	-0.0751
80	6.98585	7.99806	22.2087	0.0012	0.0015
90	7.01084	8.00375	21.7812	-0.0004	0.1810
100	7.01277	8.01916	22.1694	-0.0002	0.0476
110	7.00452	8.0045	22.0726	4.3·10 ⁻⁰⁵	-0.0053
120	7.00057	8.001	22.0546	-7.4·10 ⁻⁰⁵	0.0222
130	7.01671	8.00023	22.1026	-0.0004	-0.0032
140	6.99941	7.98936	21.9122	2.8·10 ⁻⁰⁵	-0.0012
150	7.00474	8.00166	22.0428	-2.9·10 ⁻⁰⁵	0.0123
160	6.99686	8.003	22.0597	0.0024	-0.0022
170	7.00643	7.99947	22.654	-8.8·10 ⁻⁰⁵	0.1230
180	7.00282	7.99986	22.0078	-0.0027	0.0005
190	6.99492	7.99932	22.0145	0.0004	0.0005
200	7.03261	8.00014	21.9848	-0.0010	0.0175
210	6.99115	8.00185	21.9572	0.0006	-0.0203
220	6.99466	7.99958	21.9537	5.7·10 ⁻⁰⁵	-0.0450
230	7.01846	8.00317	22.1897	-0.0005	0.0325
240	6.99426	7.99965	21.8917	0.0003	0.0179
250	7.00901	7.99995	22.0079	4.7·10 ⁻⁰⁶	-0.0016

Список литературы: 1. Павлов А.А., Чеховский А.В. Сведение задачи построения многомерной регрессии к последовательности одномерных задач // Вісник НТУУ «КПІ» Інформатика, управління та обчислювальна техніка. – 2008 р. - №48. 2. Павлов А.А., Чеховский А.В. Построение многомерной полиномиальной регрессии (активный эксперимент). // Системні дослідження та інформаційні технології, Інститут прикладного системного аналізу НАН України та Міносвіти і науки України, №1 2009 р. (в печати). 3. Д. Худсон. Статистика для физиков. Москва, Мир, 1970. 4. Радченко С.Г. Устойчивые методы оценивания статистических моделей: Монография – К.: ПП «Санспарель», 2005. – 504 с.

Поступила в редколлегию 28.01.09

Ю. Я. БОБАЛО, канд. техн. наук, проф., НУ «Львівська Політехніка»

ІМОВІРНІСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЯКОСТІ РАДІОЕЛЕКТРОННОЇ АПАРАТУРИ

Викладено концепцію імовірнісного оцінювання ефективності проектних, виробничих і експлуатаційних систем забезпечення якості радіоелектронної апаратури. Наводяться імовірнісні оптимізаційні моделі таких систем з можливими контурами керування.

Изложена концепция вероятностного оценивания эффективности проектных, производственных и эксплуатационных систем обеспечения качества радиоэлектронной аппаратуры. Приводятся вероятностные оптимизационные модели таких систем с возможными контурами управления.

The probability evaluation concept of the effectiveness of the design, production and operational systems for quality control of radio electronic equipment has been described. The probability optimization models of such systems with possible control loops are given.

Вступ і постановка задачі. В сучасних умовах серед традиційних техніко-економічних показників переважаючого значення набувають показники якості продукції, які визначають її потенційну конкурентоспроможність як на внутрішньому, так і на зовнішньому ринках. Процеси проектування, виготовлення і експлуатації все більше розглядаються у ракурсі гарантованого виконання ними вимог щодо забезпечення заданих показників якості виробів при одночасному дотриманні норм і вимог стосовно інших показників. На таких концептуальних засадах будується сучасна науково-технічна стратегія створення нової високоякісної техніки. Велика кількість різноманітних задач, які при цьому виникають, вимагають системного підходу до їх постановки і знаходження оптимальних рішень. В зв'язку з цим виникла потреба у розробленні методології і придатних для практики методів оцінювання, моделювання і комплексної оптимізації технологічних процесів з метою забезпечення їх ефективності, тобто забезпечення потрібного рівня якості виробів при раціональному використанні всіх видів ресурсів.

Процес створення радіоелектронної апаратури може розглядатись як деяка сукупність проектних, технологічних і контрольних операцій, які реалізуються системою забезпечення якості виробів, тобто системою. Ця організаційна сукупність людей та матеріальних засобів має у своїй діяльності головну мету - провести процес таким чином, щоб забезпечити потрібну якість виробів при обумовлених або мінімальних витратах. Процес забезпечення якості виробів на стадії виготовлення має структуру адекватну до технологічного процесу, але на відміну від нього представляється послідовністю процедур формування та контролю якості на всіх стадіях виробництва з використанням єдиного універсального критерію. Таким критерієм є рівень дефектності об'єктів виробництва - деталей, вузлів, блоків

і інших конструкційно-технологічних компонентів, а також виробу в цілому після проведення відповідних технологічних та контрольних процедур [1].

Ефективність системи забезпечення якості радіоелектронної апаратури, як і інших технічних пристроїв, є однією з головних її характеристик, яка визначається її спроможністю вирішувати поставлену перед нею задачу проектування і виготовлення потрібної кількості продукції з заданими техніко-економічними параметрами. В теорії ефективності ця властивість розглядається у двох аспектах, а саме, як функціональна і як економічна ефективність. В даній роботі функціональна ефективність характеризується прямим ефектом, який досягається у процесі функціонування системи, тобто випуском продукції з заданим рівнем якості у широкому розумінні цього слова. Економічна ефективність визначається сумарними виробничими витратами на забезпечення якості виробів при їх проектуванні, виготовленні та гарантійному обслуговуванні. Таким чином ефективність є комплексною характеристикою, яка поєднує функціональну ефективність з економічною ефективністю і саме у такому виді використовується при моделюванні і комплексній оптимізації проектних і виробничих систем.

Розробка моделі процесу оцінювання якості. Згідно з загальними принципами оцінки якості складних систем критерію ефективності системи можна надати наступний зміст. Вектор показників, які характеризують якість процесу проектування і виготовлення радіоелектронної апаратури, представляється багатокомпонентним вектором $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$. Фізичний зміст компонент вектора Q визначається метою проведення процесу і його спроможністю виконувати поставлені завдання. Ними можуть бути, наприклад, точність розрахунків при проектуванні схем, конструкцій і технологічних операцій, оцінки шорсткості поверхонь деталей після механічної обробки, якісні показники електропровідного рисунку друкованих плат, похибки формування дифузійного шару, дефектність паяних з'єднань і інші. Вектором допустимих значень показників є $Q^0 = [q_1^0, q_2^0, \dots, q_n^0]$.

Вимоги до якості завжди мають односторонні обмеження і тому якщо область допустимих значень показників $Q = (q_1, q_2, \dots, q_n)$ обмежити граничними значеннями $Q^z = (q_1^z, q_2^z, \dots, q_n^z)$, то імовірність виконання системою поставленого завдання щодо забезпечення якості $P_{6.3}$ визначиться умовою $P_{6.3} = P(Q < Q^z)$, або $P_{6.3} = P(Q > Q^z)$.

Поява дефектів в процесі проектування, виробництва і експлуатації виробів є подією, що протилежна до події відсутності дефектів, тож імовірність появи дефектів можна визначити як $P_{def} = 1 - P_{6.3}$, тобто $P_{def} = P(Q > Q^z)$, або $P_{def} = P(Q < Q^z)$.

Імовірність події $P(Q < Q^z) = P_{6.3}$ у вигляді інтегралів Стильєса визначається наступним чином:

$$P_{6.3} = \begin{cases} P(\hat{Q} < \hat{Q}^z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} F_{\hat{Q}}(Q^z) dF_{\hat{Q}}(Q^z), \\ P(\hat{Q}^z > \hat{Q}) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} R_{\hat{Q}}(Q) dF_{\hat{Q}}(Q), \end{cases} \quad (1)$$

де $F_{\hat{Q}}(Q^z) = P(\hat{Q} < Q^z)$, $R_{\hat{Q}}(Q) = P(\hat{Q}^z > Q)$ - відповідні умовні імовірності, \wedge - символ випадкового вектора.

Наведені постановка і вирішення цієї задачі відносяться до категорії кількісного багатокомпонентного оцінювання ефективності системи забезпечення якості виробів. Задача суттєво спрощується, якщо компоненти вектора Q є незалежними. Тоді формула для визначення імовірності виконання системою завдання $P_{6.3}$ набуває наступного вигляду:

$$P_{6.3} = \begin{cases} P(\hat{Q} < \hat{Q}^z) = \prod_{i=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} F_{\hat{q}_i}(q_i^z) dF_{\hat{q}_i}(q_i^z), \\ P(Q^z > \hat{Q}) = \prod_{i=1}^n \int_{-\infty}^{\infty} R_{\hat{q}_i}(q_i) dF_{\hat{q}_i}(q_i). \end{cases} \quad (2)$$

В загальному випадку визначення імовірності $P_{6.3}$ може здійснюватись шляхом використання методу головних компонент, який дозволяє зменшити розмірність цих векторів. Теоретичні основи методу викладені в [2,3], а його застосування разом з елементами теорії випробувань та контролю технічних систем розглянуто у [1,4].

Розробка моделі процесу забезпечення якості. Процес забезпечення якості РЕА на всіх стадіях життєвого циклу формалізується процесом функціонування системи, інтегрованим показником якості якої в загальному випадку є показник $Q(\Pi, T, K, E, R)$, що залежить від відповідних показників якості процесів проектування Π , технологічних і контрольних процедур T і K , процесів експлуатації E і процесів забезпечення ресурсами R . Виконання поставленого завдання системою зводиться до виконання нею умови:

$$P_{6.3} = P\{Q(\Pi, T, K, E, R) \underset{<}{>} Q^z \geq P_{6.3 \text{ зад}}\} \quad (3)$$

де Q^z - граничне значення показників якості; $P_{6.3}$ і $P_{6.3 \text{ зад}}$ - імовірність виконання системою поставленого системою завдання і її задане значення.

Умову (3) можна розглядати як критерій виконання системою поставленого завдання, а аргументи Π, T, K, E, R - як параметри, що визначають відповідні контури керування системами. Таким чином варіантність управління системою і варіантність відповідних оптимізаційних

задач визначаються комбінаціями показників якості, які використовуються як параметри оптимізації. Такими варіантами можуть бути:

- управління процесами проектування:

$$P_{\text{вз.}} = P\{Q(\Pi_{\text{var}}, T, K, E, R) \underset{<}{>} Q^* \geq P_{\text{вз.зад.}}\}, \quad (4)$$

де $n_i \in G_{n_i}^0$; $(t_i \in G_{t_i}^0) = \text{const}$; $(e_i \in G_{e_i}^0) = \text{const}$; $(\kappa_i \in G_{\kappa_i}^0) = \text{const}$; $(r_i \in G_{r_i, \text{дон}}^0) = \text{const}$;

- управління технологічними процесами:

$$P_{\text{вз.}} = P\{Q(\Pi, T_{\text{var}}, K, E, R) \underset{>}{<} Q^* \geq P_{\text{вз.зад.}}\}, \quad (5)$$

де $(n_i \in G_{n_i}^0) = \text{const}$; $(e_i \in G_{e_i}^0) = \text{const}$; $t_i \in G_{t_i}^0$; $(r_i \in G_{r_i}^0) = \text{const}$; $(\kappa_i \in G_{\kappa_i}^0) = \text{const}$;

- управління процесами контролю:

$$P_{\text{вз.}} = P\{Q(\Pi, T, K_{\text{var}}, E, R) \underset{<}{>} Q^* \geq P_{\text{вз.зад.}}\}, \quad (6)$$

де $(n_i \in G_{n_i}^0) = \text{const}$; $(e_i \in G_{e_i}^0) = \text{const}$; $(t_i \in G_{t_i}^0) = \text{const}$; $(r_i \in G_{r_i}^0) = \text{const}$; $\kappa_i \in G_{\kappa_i}^0$;

- управління процесами експлуатації:

$$P_{\text{вз.}} = P\{Q(\Pi, T, K, E_{\text{var}}, R) \underset{<}{>} Q^* \geq P_{\text{вз.зад.}}\}, \quad (7)$$

де $(n_i \in G_{n_i}^0) = \text{const}$; $e_i \in G_{e_i}^0$; $(\kappa_i \in G_{\kappa_i}^0) = \text{const}$;

- управління процесами ресурсного забезпечення:

$$P_{\text{вз.}} = P\{Q(\Pi, T, K, E, R_{\text{var}}) \underset{<}{>} Q^* \geq P_{\text{вз.зад.}}\}, \quad (8)$$

де $(n_i \in G_{n_i}^0) = \text{const}$; $(e_i \in G_{e_i}^0) = \text{const}$; $r_i \in G_{r_i}^0$; $(\kappa_i \in G_{\kappa_i}^0) = \text{const}$;

- комбіноване управління процесами проектування та технологічними процесами:

$$P_{\text{вз.}} = P\{Q(\Pi_{\text{var}}, T_{\text{var}}, K, E, R) \underset{<}{>} Q^* \geq P_{\text{вз.зад.}}\}, \quad (9)$$

де $n_i \in G_{n_i}^0$; $(e_i \in G_{e_i}^0) = \text{const}$; $t_i \in G_{t_i}^0$; $(r_i \in G_{r_i}^0) = \text{const}$; $(\kappa_i \in G_{\kappa_i}^0) = \text{const}$;

- комплексне управління процесами забезпечення якості на всіх стадіях життєвого циклу:

$$P_{\text{вз.}} = P\{Q(\Pi_{\text{var}}, T_{\text{var}}, K_{\text{var}}, E_{\text{var}}, R_{\text{var}}) \underset{<}{>} Q^* \geq P_{\text{вз.зад.}}\}, \quad (10)$$

де $n_i \in G_{n_i}^0$; $e_i \in G_{e_i}^0$; $t_i \in G_{t_i}^0$; $r_i \in G_{r_i}^0$; $\kappa_i \in G_{\kappa_i}^0$.

Зрозуміло, що вибір того чи іншого варіанту управління процесом забезпечення якості залежить від комплексу техніко-економічних можливостей конкретного виробництва, зокрема його організаційної досконалості і ресурсного забезпечення [4].

Висновки. Імовірність виконання завдання є універсальною мірою ефективності процесу забезпечення якості виробництва радіоелектронної апаратури і може використовуватись при його покроковому і наскрізному аналізі. Введення поняття такого процесу і його математичне моделювання дозволяє досліджувати динаміку формування якості виробів упродовж усього життєвого циклу, знаходити критичні точки в його структурі в аспекті забезпечення якості, вирішувати задачі комплексної оптимізації і прогнозувати якість виробів, починаючи з найперших стадій проектування і виробництва, як то вхідний контроль матеріалів, напівфабрикатів і комплектуючих виробів, і закінчуючи завершальними стадіями експлуатації.

Список літератури: 1. Бобало Ю.Я., Кіселічник М.Д., Недоступ Л.А. Системний аналіз якості виробництва прецизійної радіоелектронної апаратури. – Львів: Держ. ун-т "Львівська політехніка", 1996. – 168 с. 2. Андерсен Т. Введение в многомерный статистический анализ. – М.: Физматгиз, 1963. – 500 с. 3. Рао С.Р. Линейные статистические методы и их применение. – М. Наука, 1968. – 548 с. 4. Элементы теории испытаний и контроля технических систем / В.И.Городецкий, А.К. Дмитриев, В.М.Марков и др.; Под ред. Р.М.Юсупова. – Л.: Энергия, 1978. – 192 с.

Надійшла до редколегії 28.01.09

УДК 519.15:004.38

С. Н. КОВАЛЕНКО, ст. преподаватель каф. кибернетики ХНТУСХ

им. П. Василенко,

С. В. КОВАЛЕНКО ст. преподаватель каф. САиУ НТУ «ХПИ»

А. В. ЛЕВКИН, канд. техн. наук, ХНТУСХ им. П. Василенко

ЧИСЛЕННАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЗАДАЧ КОМБИНАТОРНОЙ ОПТИМИЗАЦИИ В АПК

Запропоновано підхід щодо оцінки залежності часових витрат на реалізацію математичної моделі від розмірності задачі комбінаторної оптимізації з обмеженнями на елементи комбінаторних множин. Це дає можливість визначити межі застосовності методу повного перебору для знаходження глобального екстремуму таких задач. Визначення глобального екстремуму необхідно для подальшої оцінки ефективності методів пошукової оптимізації.

Предложен подход к оценке зависимости временных затрат на реализацию математической модели от размерности задачи комбинаторной оптимизации с ограничениями на элементы комбинаторных множеств. Это дает возможность определить границы применимости метода полного перебора для отыскания глобального экстремума таких задач. Определение глобального экстремума необходимо для дальнейшей оценки эффективности методов поисковой оптимизации.

The approach to the estimation dependence of time expenses on realization of mathematical model on dimension of combinatorial optimization problem with limitations on units of combinatorial sets is

offered. It gives the chance to define boundaries of applicability of exhaustive method for search of a global extremum of such tasks. The definition of a global extremum is necessary for a further estimation of efficiency of methods of retrieval optimization.

Введение. В агропромышленном комплексе (АПК) существует большое количество задач, которые могут быть решены с помощью комбинаторных методов оптимизации: задачи формирования комплексов сельскохозяйственных машин, построения севооборотов, задачи определения рентабельности сельскохозяйственных предприятий и т.п. Это связано с дискретной природой множеств, на которых осуществляется оптимизация. Например, – дискретные множества культур, полей, разрешенных и недопустимых севооборотов, множества сельскохозяйственной техники и технологических операций на выполнение сельскохозяйственных работ и т.д. Основной целью организации технологического процесса при этом является поиск сочетания искомых параметров, который обеспечивает экстремум по одному из критериев качества – критерию повышения биопотенциала растений, уменьшения энергозатрат или уменьшения влияния на экосистему.

Анализ исследований и публикаций. Общим вопросам решения комбинаторных задач условной оптимизации посвящены работы [1, 2], непосредственно комбинаторные задачи с ограничениями на элементы комбинаторных множеств АПК исследовались в публикациях [3 - 5]. В работе [5] исследовались вопросы учета фактора риска при планировании производства сельскохозяйственной продукции. Функцией цели в данной работе является прибыль, а случайные климатические факторы учитываются с помощью обобщенного критерия успешного выращивания сельскохозяйственных культур.

В работе [4] предложена математическая модель основной оптимизационной задачи АПК.

$$Q(\pi^*) = \underset{\pi \in \Pi \subset \Pi}{extr} Q[\pi, f^*, k(\pi, f^*)], \quad (1)$$

$$\pi^* = \arg \underset{\pi \in \Pi^* \subset \Pi}{extr} Q[\pi, f^*, k(\pi, f^*)]. \quad (2)$$

Решением задачи (1) – (2) будет кортеж $\langle \pi^*, Q^*, k^*, f^* \rangle$, в который входят рациональный элемент π^* комбинаторного множества $\Pi^* \subset \Pi$; значение критерия Q^* ; вектор значений частных критериев k^* ; вектор f^* значений климатических параметров, ранее заданных в модели (1) – (2).

В работе [4] проводится анализ особенностей математической модели (1) – (2), к которым в первую очередь относятся: комбинаторность, многомерность, нелинейность, многоэкстремальность. Здесь же для реализации математической модели предлагается метод поисковой

оптимизации, основанный на последовательном применении методов случайного поиска, сужающихся окрестностей и вектора спада.

Постановка проблемы. Для оценки приближения локального экстремума, полученного последовательным применением методов случайного поиска, сужающихся окрестностей и вектора спада необходимо определить глобальный экстремум методом полного перебора. Определим зависимость размерности задачи и временных затрат при поиске глобального экстремума функции цели.

Цель такого численного эксперимента, с одной стороны, имеет важное самостоятельное значение для получения условий применимости метода полного перебора к решению практических задач данного типа, а с другой – дает возможность осуществить поиск глобального экстремума для реальной (наибольшей) размерности решаемой задачи.

Зависимость размерности задачи и временных затрат. Основными этапами численной реализации метода полного перебора при решении данного типа задач являются: генерирование элементов полного множества комбинаторных соединений, проверка допустимости элементов по заданной системе ограничений, вычисление значений функции цели для каждого допустимого элемента комбинаторных соединений и выделение экстремального значения функции цели.

Временные затраты на реализацию каждого из указанных этапов зависят от числа k элементов множества комбинаторных соединений решаемой задачи.

В общем случае временные затраты определяются, следующим образом

$$T(k) = T_1(k) + T_2(k) + T_3(k),$$

где k – число элементов множества комбинаторных соединений решаемой задачи;

$T(k)$ – общие временные затраты на реализацию метода;

$T_1(k)$ – временные затраты на этап генерирования полного множества комбинаторных соединений;

$T_2(k)$ – временные затраты на анализ удовлетворения всех элементов множества комбинаторных соединений заданной системе ограничений;

$T_3(k)$ – временные затраты на этап вычисления значений функции цели для каждого допустимого элемента множества комбинаторных соединений и выделения экстремального значения функции цели.

С другой стороны, временные затраты T_1, T_2, T_3 прямо пропорциональны числу k элементов множества комбинаторных соединений рассматриваемой задачи

$$T_1(k) = kt_1, T_2(k) = kt_2, T_3(k) = kt_3,$$

где k – число элементов множества комбинаторных соединений;
 t_1 – временные затраты на генерирование одного элемента множества комбинаторных соединений;
 t_2 – временные затраты на анализ удовлетворения одного элемента множества комбинаторных соединений заданной системе ограничений;
 t_3 – временные затраты на вычисление значения функции цели для одного допустимого элемента множества комбинаторных соединений и его сравнение с другими, полученными ранее, значениями функции цели.

Таким образом,

$$T(k) = k(t_1 + t_2 + t_3). \quad (3)$$

Проведем анализ соотношения (3):

1. При отсутствии ограничений на элементы полного множества комбинаторных соединений, исключается этап установления принадлежности элементов области допустимых решений, поэтому временные затраты $T_2(k) = kt_2 = 0$.

2. При наличии большого числа довольно жестких ограничений, временные затраты $T_2(k) = kt_2$ возрастают, и связано это с анализом принадлежности элементов множеств области допустимых решений, а временные затраты $T_3(k) = kt_3$ уменьшаются за счет уменьшения количества вычисляемых значений функции цели.

3. Первые две особенности присущи всем базовым задачам и их математическим моделям. Отличие же математических моделей базовых задач, как правило, состоит в различном представлении функций цели. Тем не менее, временные затраты $T_3(k) = kt_3$ на вычисления значений функций цели в базовых задачах, примерно одинаковы и связаны с выполнением простых однотипных арифметических операций с числами. Например, умножение площади поля на урожайность и на стоимость реализации одной единицы продукции, затем сложение этих величин по всем полям и др.

Выводы. Из отмеченных в пунктах 1 – 3 особенностей и вида выражения (3) для оценки временных затрат на численную реализацию метода следует, что существенное сокращение временных затрат на решение задач этого типа лежит на пути направленного перебора элементов множества комбинаторных соединений. В этом случае сокращение числа анализируемых элементов множества комбинаторных соединений (уменьшение коэффициента k в выражении (3)), приводит к сокращению общих временных затрат $T(k) = k(t_1 + t_2 + t_3)$, естественно при условии применения эффективного поискового метода оптимизации. Последнее обстоятельство обеспечивается предложенной композицией методов комбинаторной оптимизации.

Список литературы: 1. Стоян Ю. Г., Соколовский В. З. Решение некоторых много-экстремальных задач методом сужающихся окрестностей. – К.: Наукова думка. – 1980. – 208 с. 2. Стоян Ю. Г., Пулятин В. П. Оптимизация технических систем с источниками физических полей. – К.: Наукова думка. – 1988. – 192 с. 3. Коваленко С. Н. Задачи комбинаторной оптимизации агроэкологической севообороты – технологии – машины – экология / С. Н. Коваленко // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2007. – № 4/5(28). – С. 20–24. 4. Коваленко С. Н. Модели задач комбинаторной оптимизации для принятия решений в АПК / В. П. Пулятин, С. Н. Коваленко // Системи обробки інформації. – 2007. – Вип. 2 (60). – С. 71–75. 5. Раскин Л. Г., Карпенко В. В. Рациональное распределение посевной площади при возделывании сельскохозяйственных культур в условиях риска. // Вестник НТУ «ХПИ». Системный анализ, управление и информационные технологии. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2004. – № 36. – С. 27 – 32.

Поступила в редакцию 02.03.09

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Годлевский М. Д., Орехова Е. Л.</i> Задача ситуационного управления ценовой политикой предприятия на примере рынка полимеров	9
<i>Орловский Д. Л., Корф А. О.</i> Информационно-технологическая поддержка ситуационного анализа показателей деятельности предприятия	9
<i>Павлов А. А., Иванова, А. А., Чеховский А. В.</i> Восстановление функции принятия решения с использованием модифицированного метода анализа иерархий	17
<i>Любчик Л. М., Конохова Ю. В.</i> Математическая модель процесса формирования и использования капитала страховой компании	23
<i>Любчик Л. М., Солощук В. М.</i> Моделирование динамики развития проекта по разработке программного обеспечения на основе оценки состояний готовности продукта	28
<i>Лесная Н. С., Ляховец А. В.</i> Модель системы поддержки процессов кредитования образования	36
<i>Кононенко И. В., Емельянова Е. В.</i> Математическая модель и метод минимизации затрат по проекту при ограничениях на сроки выполнения работ	46
<i>Дорохов О. В., Дорохова Л. П.</i> Імітаційна модель обслуговування покупців на аптечному підприємстві	54
<i>Горелый А. В., Коваленко Н. А.</i> Прогнозирование изменения численности учащихся общеобразовательных учебных заведений г. Харькова	60
<i>Серая О. В.</i> Двухкритериальная транспортная задача	64
<i>Тащилин М. В., Каткова Т. И.</i> Нечеткая экспертная система с регрессионным механизмом логического вывода	69
<i>Голоскоков А. Е., Савич М. В.</i> Разработка базы знаний системы диагностирования пациента с обострением бронхиальной астмы (на примере детей младшего возраста)	76

<i>Гамаюн И. П., Коваль Т. А.</i> Библиотека основных функций логики программного обеспечения системы «Анелик»	80
<i>Борисова Н. В., Канищева О. В.</i> Моделирование синтаксического анализа в задачах аннотирования и реферирования полнотекстовых документов	87
<i>Гончаров С. В., Сайед Мохаммад Таухид Сиддики.</i> Использование предикатных категорий для представления информации в документах	96
<i>Соколова Н. А., Прохоренко Д. В.</i> Автоматизированный синтез функциональной структуры системы обработки информации и управления	103
<i>Марченко Н. А., Самарский В. В.</i> Разработка распределенной системы для автоматизации процессов представления данных	112
<i>Ковальчук А. А., Сачук І. І., Сосунов А. А.</i> Сравнительная оценка показателя качества подсистем автосопровождения по радиальной скорости, дальности и угловой координате многоканальной РЛС	117
<i>Сейед Моджтаба Джафари Хенджани, Северин В. П.</i> Примеры многокритериального синтеза систем автоматического управления путем минимизации интегральных квадратичных оценок	123
<i>Никулина Е. Н.</i> Математическое моделирование систем автоматического регулирования тепловой мощности реактора	131
<i>Северин В. П., Казанцева И. Г.</i> Оптимизация прямых показателей качества систем автоматического регулирования ядерного реактора	137
<i>Северин В. П., Садовенко Л. В.</i> Розробка методів обчислення прямих показників якості систем автоматичного керування	143
<i>Колбасин В. А.</i> Рекуррентная идентификация нелинейных динамических систем на основе метода опорных векторов	149
<i>Демин А. В., Колбасин В. А.</i> Параллельная система обработки сигналов ФЭУ для восстановления координат сцинтилляций в детекторах гамма-камер	155
<i>Павлов А. А., Штанькевич А. С.</i> Восстановление закономерности по результатам пассивного эксперимента с ограниченным набором данных	160
<i>Пономарева Е. Ю., Безменов Н. И., Борисов В. Г.</i> Разработка элементов бизнес-системы коммерческого медицинского учреждения	169
<i>Павлов А. А., Чеховский А. В.</i> Построение многомерной полиномиальной регрессии. Активный эксперимент с ограничениями	174
<i>Бобало Ю. Я.</i> Імовірнісне оцінювання ефективності систем забезпечення якості радіоелектронної апаратури	186
<i>Коваленко С. Н., Коваленко С. В., Левкин А. В.</i> Численная реализация математических моделей задач комбинаторной оптимизации в АПК	190

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ»

Збірник наукових праць

Тематичний випуск «Системний аналіз, управління та інформаційні технології»

Випуск 4

Наукові редактори М. Д. Годлевський, О.С.Куценко
Технічний редактор М. І. Безменов

Відповідальний за випуск І. Б. Обухова

Обл.-вид № 45-09.

Підп. до друку 10.04.09 р. Формат 60×84 1/16. Папір офсетний.
Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 8,5. Облік.-вид. арк. 10,1.
Наклад 100 прим. Перший завод 1-100. Зам. № 1. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ».

Свідоцтво державну реєстрацію № 116 від 10.07.2000 р.

61002, Харків, вул. Фрунзе, 21

ФОП Стеценко І. І., 61019, Харків, пр. Ілліча, 103а, кв. 21,
тел. 758-17-35