

СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

№ 3

2009

ЗАСНОВАНИЙ У ЛИПНІ 2001 Р.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор

М.З. ЗГУРОВСЬКИЙ, акад. НАН України

Заступник головного редактора

Н.Д. ПАНКРАТОВА, проф., д. т. н.

Члени редколегії:

П.І. АНДОН, чл.-кор. НАН України

А.В. АНІСІМОВ, проф., д. ф.-м. н.

В.Г. БОНДАРЕНКО проф., д. ф.-м. н.

Ж. БОННІН, проф., Франція

Р. ВОРОНКА, проф., США

С.М. ГРІША, проф., д. т. н.

О.Д. ГВІШАНИ, проф., д. ф.-м. н.,
Росія

В.І. КОСТЮК, проф., д. т. н.

В.М. КУНЦЕВИЧ, акад. НАН України

Г.М. ЛУЦЬКИЙ, проф., д. т. н.

О.С. МАКАРЕНКО проф., д. ф.-м. н.

О.А. МОЛЧАНОВ, проф., д. т. н.

В.В. ОСТАПЕНКО, проф., д. ф.-м.н.

О.А. ПАВЛОВ, проф., д. т. н.

В.Н. РЕДЬКО, акад. НАН України

Т.Л. СААТІ, проф., США

І.В. СЕРГІЄНКО, акад. НАН України

В.В. СКОПЕЦЬКИЙ, чл.-кор. НАН України

В.П. ТАРАСЕНКО, проф., д. т. н.

Я.С. ЯЦКІВ акад. НАН України

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

03056, м. Київ,

пр. Перемоги, 37, корп. 35,

Навчально-науковий комплекс

«Інститут прикладного системного аналізу»

НТУУ «КПІ» МОН та НАН України

Тел.: 241-68-44, Факс: 241-68-44

E-mail: journal@mmsa.ntu-kpi.kiev.ua

http://journal.iasa.com.ua

У номері:

• **Прогресивні інформаційні технології, високопродуктивні комп'ютерні системи**

• **Проблеми прийняття рішень і управління в економічних, технічних, екологічних і соціальних системах**

• **Проблемно і функціонально орієнтовані комп'ютерні системи та мережі**

• **Методи оптимізації, оптимальне управління і теорія ігор**

• **Математичні методи, моделі, проблеми і технології дослідження складних систем**

• **Нові методи в системному аналізі, інформатиці та теорії прийняття рішень**

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
EDUCATIONAL-SCIENTIFIC COMPLEX
«INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEM ANALYSIS»
AT THE NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF UKRAINE «KPI»
OF MES AND NAS OF UKRAINE

SYSTEM RESEARCH AND INFORMATION TECHNOLOGIES

INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

№ 3

2009

IT IS FOUNDED IN JULY, 2001

EDITORIAL BOARD:

The editor – in – chief

M.Z. ZGUROVSKY, Academician of
NASU

Deputy editor – in – chief

N.D. PANKRATOVA, Prof., Ukraine

Associate editors:

F.I. ANDON, Correspondent Mem-
ber of NASU
A.V. ANISIMOV, Prof., Ukraine
V.G. BONDARENKO Prof., Ukraine
Z. BONNIN, Prof., France
R. VORONKA, Prof., USA
S.N. GRISHA, Prof., Ukraine
A.D. GVISHIANI Prof., Russia
V.I. KOSTJUK, Prof., Ukraine
V.M. KUNTSEVICH, Academician of NASU
G.M. LUTSKY, Prof., Ukraine
A.S. MAKARENKO Prof., Ukraine
A.A. MOLCHANOV, Prof., Ukraine
V.V. OSTAPENKO, Prof., Ukraine
A.A. PAVLOV, Prof., Ukraine
V.N. REDKO, Academician of NASU
T.L. SAATY, Prof., USA
I.V. SERGIENKO, Academician of NASU
V.V. SKOPETSKY Correspondent mem-
ber of NASU
V.P. TARASENKO, Prof., Ukraine
Ya.S. YATSKIV Academician of NASU

THE EDITION ADDRESS:

03056, Kyiv,
av. Peremogy, 37, building 35,
Educational-Scientific Complex
«Institute for Applied System Analysis» at the
National Technical University of Ukraine «KPI»
of MES and NAS of Ukraine
Phones: **241-68-44**; Fax: **241-68-44**;
E-mail: journal@mmsa.ntu-kpi.kiev.ua
<http://journal.iasa.com.ua>

In the issue:

• **Progressive information technologies, high-efficiency computer systems**

• **Decision making and control in economic, technical, ecological and social systems**

• **Problem- and function-oriented computer systems and networks**

• **Methods of optimization, optimum control and theory of games**

• **Mathematical methods, models, problems and technologies for complex systems research**

• **New methods in system analysis, computer science and theory of decision making**

Шановні читачі!

Навчально-науковий комплекс «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України видає міжнародний науково-технічний журнал

«СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ».

Журнал публікує роботи теоретичного і прикладного характеру в широкому спектрі проблем, пов'язаних із системними дослідженнями та інформаційними технологіями.

Провідні тематичні розділи журналу:

Теоретичні та прикладні проблеми і методи системного аналізу; теоретичні та прикладні проблеми інформатики; автоматизовані системи управління; прогресивні інформаційні технології, високопродуктивні комп'ютерні системи; проблеми прийняття рішень і управління в економічних, технічних, екологічних і соціальних системах; теоретичні та прикладні проблеми інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень; проблемно і функціонально орієнтовані комп'ютерні системи та мережі; методи оптимізації, оптимальне управління і теорія ігор; математичні методи, моделі, проблеми і технології дослідження складних систем; методи аналізу та управління системами в умовах ризику і невизначеності; евристичні методи та алгоритми в системному аналізі та управлінні; нові методи в системному аналізі, інформатиці та теорії прийняття рішень; науково-методичні проблеми в освіті.

Головний редактор журналу — ректор Національного технічного університету України «КПІ», директор Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, академік НАН України Михайло Захарович ЗГУРОВСЬКИЙ.

Журнал «Системні дослідження та інформаційні технології» включено до переліку фахових видань ВАК України.

Статті публікуються українською, російською та англійською мовами.

Журнал можна передплатити. **Наш індекс 23918.** Якщо ви не встигли передплатити журнал, його можна придбати безпосередньо в редакції. Наша адреса: 03056, м. Київ, пр. Перемоги, 37, корп. 35.

Редактор В.М. Мацуї
Комп'ютерна верстка А.А. Патіоха

Підписано до друку 25.09.2009. Формат 70x108/16.
Папір офс. Офс. друк. Ум. друк. арк. 14. Ціна договірна.
Свідоцтво про реєстрацію КВ № 13804–2778 ПР від 17.03.2008 р.

Видавництво та поліграфія ВПК «Політехніка»
ВПІ НТУУ «КПІ»
03056, Київ–56, пр. Перемоги, 37, корп. 15

Dear Readers!

The Educational-scientific complex «Institute for applied system analysis» at the National technical university of Ukraine «KPI» of MES and NAS of Ukraine is published of the international scientific and technical journal

**«SYSTEM RESEARCH AND
INFORMATION TECHNOLOGIES».**

The Journal is printing works of a theoretical and applied character on a wide spectrum of problems, connected with system researches and information technologies.

The main thematic sections of the Journal are the following:

Theoretical and applied problems and methods of system analysis; theoretical and applied problems of computer science; automated control systems; progressive information technologies, high-efficiency computer systems; decision making and control in economic, technical, ecological and social systems; theoretical and applied problems of intellectual systems for decision making support; problem- and function-oriented computer systems and networks; methods of optimization, optimum control and theory of games; mathematical methods, models, problems and technologies for complex systems research; methods of system analysis and control in conditions of risk and uncertainty; heuristic methods and algorithms in system analysis and control; new methods in system analysis, computer science and theory of decision making; scientific and methodical problems in education.

The editor-in-chief of the Journal is Rector of the National Technical University of Ukraine «KPI», Director of the Educational-scientific complex «Institute for applied system analysis» at the National technical university of Ukraine «KPI» of MES and NAS of Ukraine, academician of the NASU Michael Zaharovych Zgurovsky.

The articles to be published in the Journal in Ukrainian, Russian and English languages are accepted. Information printed in the Journal is included in the Catalogue of periodicals of Ukraine.

СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

3 • 2009

ЗМІСТ

ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ВИСОКОПРОДУКТИВНІ КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ	
<i>Зайченко Ю.П., Рогоза С.В., Столбунов В.А.</i> Сравнительный анализ методов оценки риска банкротства предприятий	7
<i>Тарасенко В.П., Михайлюк А.Ю., Заболотня Т.М.</i> Контекстно-асоциативный подход до автоматизованого виправлення орфографічних помилок	21
<i>Martynov E., Svistunov S., Zinovjev G.</i> Academic segment of Ukrainian Grid infrastructure	31
<i>Гончар М.С., Терент'єва Л.С.</i> Оцінювання ризиків дефолту та реальних опціонів	43
<i>Шелестов А.Ю.</i> Моделирование Grid-узла на основе сетей Петри	52
<i>Канищева О.В.</i> Идентификация знаний в электронных библиотеках	66
ПРОБЛЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ І УПРАВЛІННЯ В ЕКОНОМІЧНИХ, ТЕХНІЧНИХ, ЕКОЛОГІЧНИХ І СОЦІАЛЬНИХ СИСТЕМАХ	
<i>Згуровский М.З., Павлов А.А.</i> Иерархическое планирование в системах, имеющих сетевое представление технологических процессов и ограниченные ресурсы, как задача принятия решений	70
ПРОБЛЕМНО І ФУНКЦІОНАЛЬНО ОРІЄНТОВАНІ КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ	
<i>Меликов А.З., Велибеков А.М.</i> Численный метод анализа модели беспроводной сети связи со сложной схемой резервирования каналов и очередями	76
МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ, ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ І ТЕОРІЯ ІГОР	
<i>Ненахов Э.И., Соболенко Л.А.</i> Метод линеаризации и негладкая оптимизация	90
<i>Абрамчук Л.М.</i> Методологія визначення оптимальних технологічних параметрів транспортної інфраструктури при обслуговуванні зернових вантажопотоків	105
МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ, ПРОБЛЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ	
<i>Ясінський В.В.</i> Фрактальні «портрети» структур колективних залишкових знань	112
<i>Козуля Т.В., Шаронова Н.В.</i> Определение структуры корпоративной экологической системы и идентификация ее состояния	117
НОВІ МЕТОДИ В СИСТЕМНОМУ АНАЛІЗІ, ІНФОРМАТИЦІ ТА ТЕОРІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	
<i>Повеценко Г.П.</i> Модель привабливості вибору та прийняття рішень	130
Реферати	143
Відомості про авторів	149

SYSTEM RESEARCH AND INFORMATION TECHNOLOGIES

3 • 2009

CONTENTS

PROGRESSIVE INFORMATION TECHNOLOGIES, HIGH-EFFICIENCY COMPUTER SYSTEMS	
<i>Zaychenko Yu.P., Rogoza S.V., Stolbunov V.A.</i> Comparative analysis of methods for evaluation of enterprise bankruptcy risk	7
<i>Tarasenko V.P., Mykhailiuk A.Yu., Zabolotnia T.M.</i> Context-associative approach to automated correction of spelling errors	21
<i>Martynov E., Svistunov S., Zinovjev G.</i> Academic segment of Ukrainian Grid in- frastructure	31
<i>Honchar N.S., Terentyeva L.S.</i> Estimation of default risks and real options	43
<i>Shelestov A.Yu.</i> Grid node modeling based on Petri networks	52
<i>Kanishcheva O.V.</i> Knowledge identification in e-libraries	66
DECISION MAKING AND CONTROL IN ECONOMIC, TECHNICAL, ECOLOGICAL AND SOCIAL SYSTEMS	
<i>Zgurovsky M.Z., Pavlov A.A.</i> Hierarchic planning with network representation of technological processes and limited resources as a decision making problem	70
PROBLEM- AND FUNCTION-ORIENTED COMPUTER SYSTEMS AND NETWORKS	
<i>Melikov A.Z., Velibekov A.M.</i> Numerical method for analysis of wireless communication networks with complex scheme of channels reservation and queues	76
METHODS OF OPTIMIZATION, OPTIMUM CONTROL AND THEORY OF GAMES	
<i>Nenakhov E.I., Sobolenko L.A.</i> Linearization method and unsmooth optimization	90
<i>Abramchuk L.M.</i> Methodology for determination of optimum technological parameters of transport infrastructure in maintenance of corn traffics of goods ...	105
MATHEMATICAL METHODS, MODELS, PROBLEMS AND TECHNOLOGIES FOR COMPLEX SYSTEMS RESEARCH	
<i>Yasinsky V.V.</i> Fractal «profiles» of schemes of collective remaining knowledge	112
<i>Kozulia T.V., Sharonova N.V.</i> Corporative ecological system and identification of its condition	117
NEW METHODS IN SYSTEM ANALYSIS, COMPUTER SCIENCE AND THEORY OF DECISION MAKING	
<i>Poveshchenko G.P.</i> Model of attractiveness of choice and decision making	130
References	143
Information about the authors	149

УДК 519.8

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ РИСКА БАНКРОТСТВА ПРЕДПРИЯТИЙ

Ю.П. ЗАЙЧЕНКО, С.В. РОГОЗА, В.А. СТОЛБУНОВ

Рассмотрена проблема анализа риска банкротства предприятий. Описаны классический метод дискриминантного анализа Е. Альтмана. Проанализированы достоинства и недостатки метода. Дана оценка возможности его применения в Украине. Показан нечетко-множественный подход к оценке риска банкротства. Предложен метод анализа риска банкротства предприятий на основе использования нечетких нейросетей с различными алгоритмами нечеткого вывода. Приводятся результаты сравнительного анализа различных методов в задаче оценки риска банкротства.

ВВЕДЕНИЕ

Одна из актуальных проблем стратегического менеджмента и планирования — оценка риска банкротства предприятия (корпорации) на основе анализа его финансового состояния. Своевременное выявление признаков возможного банкротства позволяет руководству принимать срочные меры по исправлению финансового состояния и снижению риска банкротства.

Понятие банкротства органично присуще современным рыночным отношениям. Оно характеризует несостоятельность предприятия (организации) удовлетворить требования кредиторов относительно оплаты товаров, работ, услуг, а также обеспечить обязательные платежи в бюджет и внебюджетные фонды. Закон Украины «О возобновлении платежеспособности должника или признания его банкротом» под банкротством понимает признанную хозяйственным судом несостоятельность должника возобновить свою платежеспособность и удовлетворить признанные судом требования кредиторов не иначе, как через применение ликвидационной процедуры.

Анализ зарубежной практики свидетельствует, что в странах с развитой рыночной экономикой и постоянной политической системой, как правило, 1/3 банкротства вызвана внешними причинами и 2/3 — внутренними.

В течение многих лет классические статистические методы широко использовались для прогнозирования рисков банкротства. Эти модели также имеют название одномерных (single-period) методов классификации, или статистических моделей. Они содержат процедуру классификации, которая с определенной мерой точности относит ту или иную компанию к группе

потенциальных банкротов или к группе компаний с благоприятным финансовым положением. Применение таких моделей может вызвать два типа ошибок.

Ошибка первого типа — фирма-банкрот классифицируется как фирма с благоприятным финансовым положением.

Ошибка второго типа — предприятие с нормальным финансовым состоянием классифицируется как потенциальный банкрот.

Обе ошибки могут привести к серьезным последствиям и убыткам. Например, если кредитное учреждение откажет компаниям со «здоровой» финансовой ситуацией в предоставлении кредита в связи с допущением ошибки второго типа, то это может привести к потерям будущей прибыли этой компанией. Такую ошибку часто называют **коммерческим риском**. И наоборот, если кредитное учреждение примет решение о предоставлении кредита компании, которая является потенциальным банкротом (ошибка первого типа), то это может привести к потерям процентов по кредиту, значительной части ссудных средств, альтернативной стоимости и т.д. Поэтому такую ошибку называют **кредитным риском**.

В настоящее время существует несколько общепризнанных методов и методик оценки риска банкротства. Наиболее известной и широко применяемой является методика Е. Альтмана [1, 2].

Z-модель Альтмана представляет собой статистическую модель, которая на основе оценки показателей финансового состояния и платежеспособности компании позволяет оценить риск банкротства и разделить хозяйственные субъекты на потенциальных банкротов и не банкротов. Вместе с тем, модель Альтмана имеет недостатки, и ее применение для экономики Украины сопряжено с определенными трудностями. Поэтому в последние годы разрабатываются альтернативные подходы и методы, учитывающие специфику анализа и принятия решений в условиях неопределенности. К их числу относятся аппарат нечетких множеств (НМ) и нечеткие нейронные сети (ННС).

Цель настоящей работы — сравнительный анализ эффективности применения различных методов и подходов к оценке риска банкротства предприятий применительно к экономике Украины.

МОДЕЛИ ОЦЕНКИ РИСКА БАНКРОТСТВА НА ОСНОВЕ МНОГОМЕРНОГО ДИСКРИМИНАНТНОГО АНАЛИЗА

Наиболее известная и распространенная модель оценки риска банкротства — модель Альтмана, построенная с использованием аппарата мультипликативного дискриминантного анализа (МДА), который позволяет подобрать такие показатели, дисперсия которых между группами была бы максимальной, а внутри группы — минимальной. В данном случае классификация проводилась по двум группам компаний, одни из которых позднее обанкротились, а другие, наоборот, смогли выстоять и упрочить свое финансовое положение.

В результате МДА построена модель Альтмана (Z-счет) [2]

$$Z = 1,2 K_1 + 1,4 K_2 + 3,3 K_3 + 0,6 K_4 + 2,0 K_5, \quad (1)$$

где K_1 — собственный оборотный капитал/ сумма активов; K_2 — неинвестированная прибыль/ сумма активов; K_3 — прибыль до уплаты процентов/ сумма активов; K_4 — рыночная стоимость собственного капитала/ стоимость заемного капитала; K_5 — объем продаж/ сумма активов.

В результате подсчета Z - показателя для конкретного предприятия делается заключение:

$Z < 1,81$ — очень высокая вероятность банкротства;

$1,81 \leq Z \leq 2,7$ — высокая вероятность банкротства;

$2,7 \leq Z \leq 2,99$ — возможно банкротство;

$Z \geq 3,0$ — вероятность банкротства крайне мала.

Модель Альтмана дает достаточно точный прогноз вероятности банкротства с временным интервалом 1-2 года.

В результате дискриминантного анализа финансовых показателей группы предприятий, заявивших о своем банкротстве, взятых за год до дефолта, было верно спрогнозировано банкротство в 31 случае из 33 (94,5%), и в 2 — сделана ошибка (6%). По второй группе предприятий, которые не обанкротились, модель ошибочно спрогнозировала банкротство только в 1 случае (3%), а в остальных 32 (97%) была допущена очень низкая вероятность банкротства, что и подтвердилось фактически (табл. 1).

Таблица 1. Результаты прогноза по модели Альтмана за год до банкротства

Группа	Количество компаний	Прогноз: принадлежность к первой группе	Прогноз: принадлежность ко второй группе
Первая (обанкротившиеся компании)	33	31(94,0%)	2 (6,0%)
Вторая (компании, которые не обанкротились)	33	1(3,0%)	32 (97,0%)

Аналогичные расчеты проведены на основе финансовых показателей за два года до банкротства. Результаты оказались размытыми (табл. 2), особенно по группе предприятий, заявивших о своем дефолте, тогда как по второй группе достоверность расчетов осталась приблизительно на том же уровне. Общая точность классификации по модели Альтмана составляет 95 % за год и 82% за два года до банкротства.

Таблица 2. Результаты прогноза по модели Альтмана (за два года до банкротства)

Группа	Количество компаний	Прогноз: принадлежность к первой группе	Прогноз: принадлежность ко второй группе
Первая (обанкротившиеся компании)	33	23(72,0%)	9 (28,0%)
Вторая (компании, которые не обанкротились)	33	2(6,0%)	31(94,0%)

Учитывая то, что приведенный выше Z -счет пригоден лишь для больших предприятий, акции которых котируются на бирже, в 1985 г. Е. Альтман предложил новую модель, позволяющую исправить данный недостаток. Определение вероятности прогнозирования банкротства для предприятий, акции которых не представлены на бирже, запишем как

$$Z = 0,717K_1 + 0,847K_2 + 3,107K_3 + 0,42K_4 + 0,995K_5, \quad (2)$$

где K_4 — балансовая стоимость собственного капитала по отношению к одолженному.

При $Z < 1,23$ риск банкротства очень большой. Подход Альтмана многократно использован самим Е. Альтманом и его последователями во многих странах (Великобритания, Франция, Бразилия, Китай и др.).

Примером применения модели Альтмана являются результаты исследований самим автором 86 компаний-банкротов за 1969 – 1975 гг., 110 за 1976 – 1995 гг. и 120 за 1997 – 1999 гг. С использованием порогового значения 2,675 точность применения метода была от 82% до 96%. При повторном тесте модели, который базировался на одном финансовом периоде, точность была 80–90% (табл. 3).

Таблица 3. Точность классификации банкротства по модели Альтмана

Количество лет до банкротства	1969 – 1975 гг.	1976 – 1995 гг.	1997 – 1999 гг.
1	82%(75%)	85%(78%)	94%(84%)
2	68%	75%	74%
Пороговое значение 2,67 (в скобках точность классификации для порогового значения 1,81)			

Подход Альтмана на основе многомерного дискриминантного анализа далее был развит другими исследователями. К числу известных моделей прогнозирования риска банкротства относятся такие.

Модель Лиса

$$Z = 0,063K_1 + 0,092K_2 + 0,057K_3 + 0,001K_4, \quad (3)$$

где K_1 — оборотный капитал / сумма активов; K_2 — прибыль от реализации/сумма активов; K_3 — нераспределенная прибыль/ сумма активов; K_4 — рыночная стоимость собственного капитала/заемный капитал.

При $Z < 0,037$ высока вероятность банкротства.

Модель Спрингейта

$$Z = 1,3A + 3,07B + 0,66C + 0,4D, \quad (4)$$

где A — оборотный капитал / общая стоимость активов; B — прибыль до уплаты налогов / общая стоимость активов; C — прибыль до уплаты налогов / краткосрочные обязательства; D — объем продаж/ общая стоимость активов.

Если значение Z меньше 0,862, то предприятие является потенциальным банкротом с вероятностью 92%. Если $Z < 0$, то предприятие — банкрот.

В последние годы выполнены исследования по применению модели Альтмана для стран СНГ с переходной экономикой. При этом коэффициенты модели должны были быть скорректированы с учетом специфики данного типа экономики. К числу наиболее успешных моделей относится модель Давыдовой-Беликова, разработанная для экономики России [3].

Модель Давыдовой–Беликова

$$R = 8,38K_1 + K_2 + 0,054K_3 + 0,63K_4, \quad (5)$$

где K_1 — отношение оборотного капитала к сумме всех активов; K_2 — отношение чистой прибыли к сумме собственного капитала; K_3 — отношение дохода (выручки от реализации) к сумме активов (коэффициент оборачиваемости); K_4 — отношение чистой прибыли к себестоимости.

При $R < 0$ вероятность банкротства максимальная (90–100 %); $0 < R < 0,18$ — высокая (60–80 %); $0,18 < R < 0,32$ — средняя (35–50 %); $0,32 < R < 0,42$ — низкая (15–20 %); $R > 0,42$ — минимальная.

Применение модели MDA начинается с нескольких предположений. Первое заключается в том, что входные данные дихотомические, т.е. группы являются непересекающимися.

MDA базируется на следующих ограничениях:

- независимые переменные, включенные в модель, нормально распределены;
- матрицы дисперсий и ковариаций группы успешных компаний и банкротов равны;
- стоимость неправильной классификации и априорная вероятность неудачи определены.

На практике данные очень редко удовлетворяют всем трем названным выше предположениям, потому что часто применение MDA происходит неадекватным образом и правильность результатов, полученных после его применения, сомнительна.

Слабая сторона модели Альтмана состоит в том, что модель является чисто эмпирической, подогнанной по выборке, и не имеет под собой самостоятельной теоретической базы. Кроме того, приведенные коэффициенты должны определяться для различных отраслей промышленности и будут, естественно, различаться.

В экономике Украины модель Альтмана пока не получила широкого применения по следующим причинам.

1. Требуется вычисление соответствующих коэффициентов при показателях K_i , $i = 1, 5$, которые отличаются от их значений для зарубежных стран.

2. Информация о финансовом состоянии анализируемых предприятий, как правило, недостоверна, руководство ряда предприятий сознательно подправляет свои показатели в финансовых отчетах, что делает невозможным нахождение достоверных оценок коэффициентов в Z-модели.

Поэтому задача оценки вероятности риска банкротства должна решаться в условиях неопределенности, неполноты исходной информации, и для ее

решения предлагается использовать адекватный аппарат принятия решений — НМ и ННС.

КОМПЛЕКСНАЯ ОЦЕНКА РИСКА БАНКРОТСТВА КОРПОРАЦИИ НА ОСНОВЕ АППАРАТА НМ

Рассмотрим матричный метод прогнозирования банкротства корпораций на основе аппарата НМ, предложенный О.А. Недосекиным [5,6].

1. Эксперт строит лингвистическую переменную со своим термножеством значений. Например, уровень менеджмента может иметь следующее термножество значений: очень низкий, низкий, средний, высокий, очень высокий.

2. Для того чтобы конструктивно описать лингвистическую переменную, эксперт выбирает соответствующий количественный признак, например, сконструированный специальным образом показатель уровня менеджмента, который принимает значения от нуля до единицы.

3. Далее эксперт каждому значению лингвистической переменной,

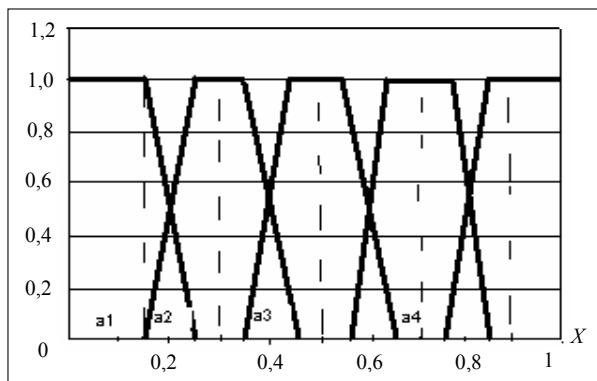


Рис. 1. Трапециевидная функция принадлежности

которая по построению является нечетким подмножеством (НП) значений интервала $[0,1]$, ставит в соответствие функцию принадлежности того или иного НМ. Как правило, это трапециевидная функция принадлежности. Верхнее основание трапеции соответствует полной уверенности эксперта в правильности классификации, а нижнее — уверенности в том, что никакие иные значения интервала $[0,1]$ не попадают в выбранное НМ (рис. 1).

На этом описание лингвистических переменных заканчивается.

НМ метод, известный также как матричный метод, состоит из следующих этапов.

НМ метод, известный также как матричный метод, состоит из следующих этапов.

Этап 1. Лингвистические переменные и НМ

1.1. Лингвистическая переменная E «Состояние предприятия» имеет пять значений НП состояний:

- E_1 — предельное неблагополучие;
- E_2 — неблагополучие;
- E_3 — средний уровень;
- E_4 — относительное благополучие;
- E_5 — предельное благополучие.

1.2. Соответствующая переменной E лингвистическая переменная G «Риск банкротства» также имеет пять значений НП состояний:

- G_1 — предельный риск банкротства;
- G_2 — высокая степень риска банкротства;
- G_3 — средняя;
- G_4 — низкая;
- G_5 — незначительный риск.

Носитель множества G — показатель степени риска банкротства g принимает значения от нуля до единицы по определению.

1.3. Для отдельного финансового показателя или показателя управления X_i задаем лингвистическую переменную B_i «Уровень показателя X_i » на следующем терм-множестве значений:

- B_{i1} — очень низкий уровень показателя X_i ;
- B_{i2} — низкий;
- B_{i3} — средний;
- B_{i4} — высокий;
- B_{i5} — очень высокий.

Этап 2. Показатели. Построим набор отдельных показателей $X = \{X_i\}$ общим числом N , которые, по мнению эксперта, с одной стороны, влияют на оценку риска банкротства предприятия, а с другой — оценивают разные по природе стороны деловой и финансовой жизни предприятия. Например, в матричном методе используются такие коэффициенты [5]:

- X_1 — автономии (отношение собственного капитала к валюте баланса);
- X_2 — обеспечения оборотных активов собственными средствами (отношение чистого оборотного капитала к оборотным активам);
- X_3 — промежуточной ликвидности (отношение суммы денежных средств и дебиторской задолженности к краткосрочным пассивам);
- X_4 — абсолютной ликвидности (отношение суммы денежных средств к краткосрочным пассивам);
- X_5 — оборачиваемость всех активов за год (отношение выручки от реализации к средней выручке за период стоимости активов);
- X_6 — рентабельность всего капитала (отношение чистой прибыли к средней за период стоимости активов).

Этап 3. Значимость показателей. Поставим в соответствие каждому показателю X_i уровень его значимости r_i . Для того чтобы оценить этот уровень, необходимо поставить все показатели в порядке уменьшения их значимости для выполнения соотношения

$$r_1 \geq r_2 \geq \dots \geq r_N.$$

Если система показателей проранжирована в порядке уменьшения их значимости, то вес i -го показателя r_i необходимо определять по правилу Фишберна

$$r_i = \frac{2(N-i+1)}{(N+1)N}. \quad (6)$$

Если все показатели имеют одинаковый вес, то $r_i = 1/N$.

Этап 4. Классификация степени риска. Построим классификацию текущего значения g показателя степени риска как критерий разбиения этого множества на НП (табл. 4).

Таблица 4. Классификация степени риска

Интервал значений g	Классификация уровня параметра	Степень оценочной уверенности (функция принадлежности)
$0 \leq g \leq 0,15$	G_5	1
$0,15 < g < 0,25$	G_5	$\mu_5 = 10 \times (0,25 - g)$
	G_4	$1 - \mu_5 = \mu_4$
$0,25 \leq g \leq 0,35$	G_4	1
$0,35 < g < 0,45$	G_4	$\mu_4 = 10 \times (0,45 - g)$
	G_3	$1 - \mu_4 = \mu_3$
$0,45 \leq g \leq 0,55$	G_3	1
$0,55 < g < 0,65$	G_3	$\mu_3 = 10 \times (0,65 - g)$
	G_2	$1 - \mu_3 = \mu_2$
$0,65 \leq g \leq 0,75$	G_2	1
$0,75 < g < 0,85$	G_2	$\mu_2 = 10 \times (0,85 - g)$
	G_1	$1 - \mu_2 = \mu_1$
$0,85 \leq g \leq 1,0$	G_1	1

Этап 5. Классификация значений показателей. Построим классификацию текущих значений показателей X как критерий разбиения полного множества их значений на НП вида B . Один из примеров такой классификации в табл. 5, где приведены трапециевидальные нечеткие числа, которые характеризуют соответствующие функции принадлежности.

Таблица 5. Классификация отдельных финансовых показателей

Показатель	Т-числа $\{T\}$ для значений лингвистической переменной «Величина параметра»				
	Очень низкий	Низкий	Средний	Высокий	Очень высокий
X_1	(0,0; 0,1; 0,2)	(0,1; 0,2; 0,25; 0,3)	(0,25; 0,3; 0,45; 0,5)	(0,45; 0,5; 0,6; 0,7)	(0,6; 0,7; 1; 1)
X_2	(-1;-1; -0,005; 0)	(-0,005; 0; 0,09; 0,11)	(0,09; 0,11; 0,3; 0,35)	(0,3; 0,35; 0,45; 0,5)	(0,45; 0,5; 1; 1)
X_3	(0,0; 0,5; 0,6)	(0,5; 0,6; 0,7; 0,8)	(0,7; 0,8; 0,9; 1)	(0,9; 1; 1,3; 1,5)	(1,3; 1,5; ∞ ; ∞)
X_4	(0,0; 0,02; 0,03)	(0,02; 0,03; 0,08; 0,1)	(0,08; 0,1; 0,3; 0,35)	(0,3; 0,35; 0,5; 0,6)	(0,5; 0,6; ∞ ; ∞)
X_5	(0,0; 0,12; 0,14)	(0,12; 0,14; 0,18; 0,2)	(0,18; 0,2; 0,3; 0,4)	(0,3; 0,4; 0,5; 0,8)	(0,5; 0,8; ∞ ; ∞)
X_6	($-\infty$; $-\infty$; 0,0)	(0,0; 0,006; 0,01)	(0,006; 0,01; 0,06; 0,1)	(0,06; 0,1; 0,225; 0,4)	(0,225; 0,4; ∞ ; ∞)

Этап 6. Оценка уровня показателей. Проведем оценку текущего уровня показателей и сведем полученные результаты в табл. 6.

Таблица 6. Текущий уровень показателей

Показатель	X_1	...	X_i	...	X_N
Текущее значение	x_1	...	x_i	...	x_N

Этап 7. Классификация уровня показателей. Проведем классификацию текущих значений x по критерию таблицы, построенной на этапе 5. Результатом проведенной классификации есть таблица значений λ_{ij} — уровней принадлежности носителя x_i НП B_j .

Этап 8. Оценка степени риска. Выполним вычислительные операции для оценки степени риска банкротства g .

$$g = \sum_{j=1}^5 g_j \sum_{i=1}^N r_i \lambda_{ij}, \quad (7)$$

где

$$g_j = 0,9 - 0,2*(j - 1). \quad (8)$$

Смысл применения формул (7) и (8) состоит в следующем. Сначала мы оцениваем вес того или иного подмножества из B в оценке состояния корпорации E и в оценке степени риска G . Эти веса далее принимают участие во внешней сумме для определения среднего значения показателя g , где g_j есть не что иное, как средняя оценка g из соответствующего диапазона табл. 4 этапа 4.

Этап 9. Лингвистическое распознавание. Классифицируем полученное значение степени риска на базе данных табл. 4. Результатом классификации являются лингвистическое описание степени риска банкротства и степени уверенности эксперта в правильности его классификации.

Основные достоинства НМ матричного метода состоят в

- 1) возможности использования, кроме количественных, и качественных факторов;
- 2) учете неточной, приближительной информации о значениях факторов.

ПРИМЕНЕНИЕ ННС ДЛЯ АНАЛИЗА РИСКА БАНКРОТСТВА

Для анализа риска банкротства в качестве классификаторов применены также ННС Цукамото, Мамдани и ANFIS. Подробное описание алгоритмов работы этих сетей приводится в работе [4]. В качестве входных данных использовались разные наборы финансовых показателей предприятий, полученные по данным Госкомстата Украины. Таким образом, количество входных нейронов равняется количеству показателей в соответствующем наборе, выходных — количеству классов, т.е. имеем два выходных нейрона.

База правил состояла из нечетких правил вида ЕСЛИ-ТО с гауссовскими функциями принадлежности, выбор которых обусловлен их непрерывно-

стью, точнее дифференцированностью в каждой точке, позволяющей гарантировать сходимость процесса обучения (градиентного алгоритма). Были проведены эксперименты с разным количеством правил (20, 30, 40), параметры которых настраивались в процессе обучения. Первичная выборка разбивалась на учебную и проверочную. Кроме того, для большей надежности процесс обучения осуществлялся на нескольких окнах данных.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

В данной работе для анализа эффективности прогнозирования методами дискриминантного анализа, анализа на основе НМ, предложенного А.О. Недосекиным, а также ННС взяты финансовые показатели 56 предприятий Украины, 13 из которых в 2006 г. признаны арбитражным судом банкротами. Другие предприятия выбирались случайно. Финансовые показатели взяты из годовых балансов и годовых отчетов о финансовых результатах за 2003, 2004 и 2005 гг. Были проведены эксперименты по классификации предприятий относительно риска банкротства с использованием ННС с логическими выводами Мамдани, Цукамото и Сугено.

Сначала проводился анализ риска банкротства на базе следующих показателей (набор 1):

- 1) отношение оборотного капитала к общей стоимости активов;
- 2) чистой прибыли к общей стоимости активов;
- 3) чистой выручки от реализации к общей стоимости активов;
- 4) уставного капитала к сумме задолженности;
- 5) дохода от реализации к общей стоимости активов.

Обучение осуществлялось в несколько этапов продолжительностью в 100 эпох.

Итоговые результаты приведены на рис. 2.

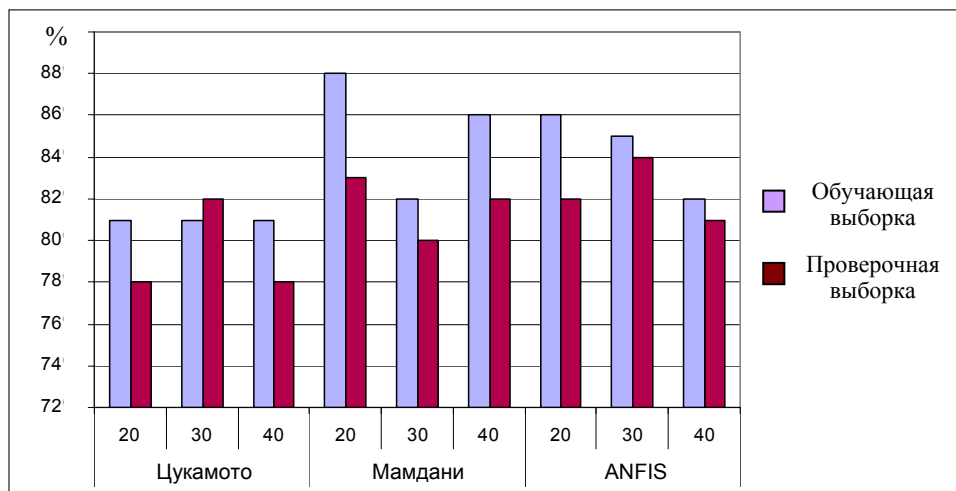


Рис. 2. Результаты прогнозирования банкротства различными методами для набора 1

Далее набор показателей был изменен таким образом (набор 2):

- 1) отношение чистого оборотного капитала к общей стоимости активов;
- 2) отношение прибыли к собственному капиталу;

- 3) коэффициент оборотных активов;
- 4) норма прибыли.

Соответствующие результаты приведены на рис. 3.

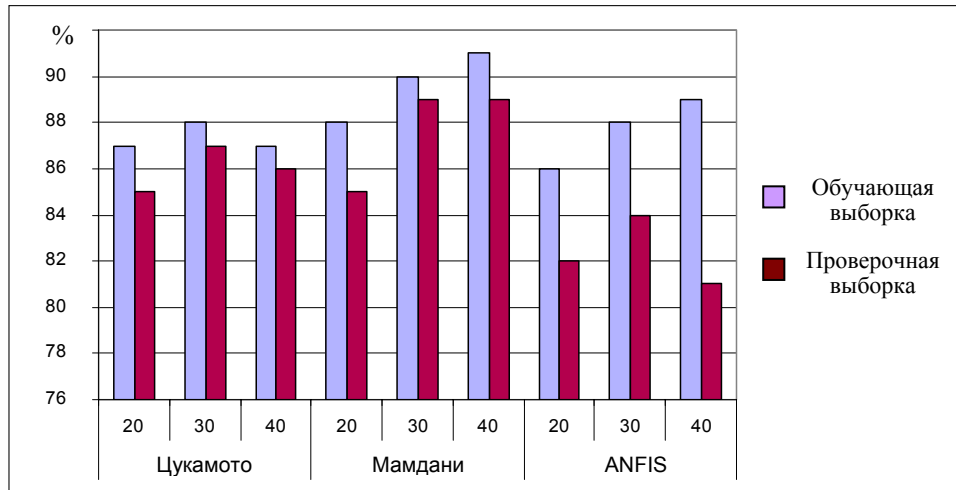


Рис. 3. Результаты прогнозирования риска банкротства для набора 2

Затем проводились сравнительные эксперименты по оценке риска банкротства с использованием статистических методов Альтмана [1, 2], Спрингейта и метода Давыдовой–Беликова [3], НМ метода Недосекина [5, 6], а также ННС с выводом Мамдани, Цукамото и Сугено (ННС ANFIS). Результаты этих экспериментов приведены на рис. 4.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РАССМОТРЕННЫХ МЕТОДОВ

1. Методом, который спрогнозировал банкротство с максимальной точностью (без учета результатов ННС), оказался матричный метод Недосекина. Точность прогнозирования составила 80% за два года до банкротства и 87 % за год до дефолта. Такой результат вполне закономерен, так как матричный метод, базирующийся на использовании теории НМ, лучше прогнозирует при условиях неопределенности, неоднородности данных, а также учитывает субъективные оценки экспертов. Но, несмотря на наилучший результат, матричный метод имеет довольно большую ошибку прогнозирования (20% за два года и 13% за год до дефолта). Это обусловлено входными данными, поскольку мы не имеем 100%-ной уверенности в правильном разбиении всей выборки на банкроты и успешные предприятия. Ведь проверочная выборка может иметь определенные неточности, которые влияют на величину ошибок.

2. Среди статистических моделей наилучший прогноз, а точнее, классификацию, дает модель, разработанная русскими учеными Г.В. Давыдовой и А.Ю. Беликовым. Точность прогнозирования составила 73,5% за три года до банкротства, 78% и 85% за два и за год до дефолта, соответственно. Результат обусловлен адаптированностью данной модели к условиям переходной экономики, в отличие от модели Альтмана и Спрингейта, которые строились на базе американских компаний.

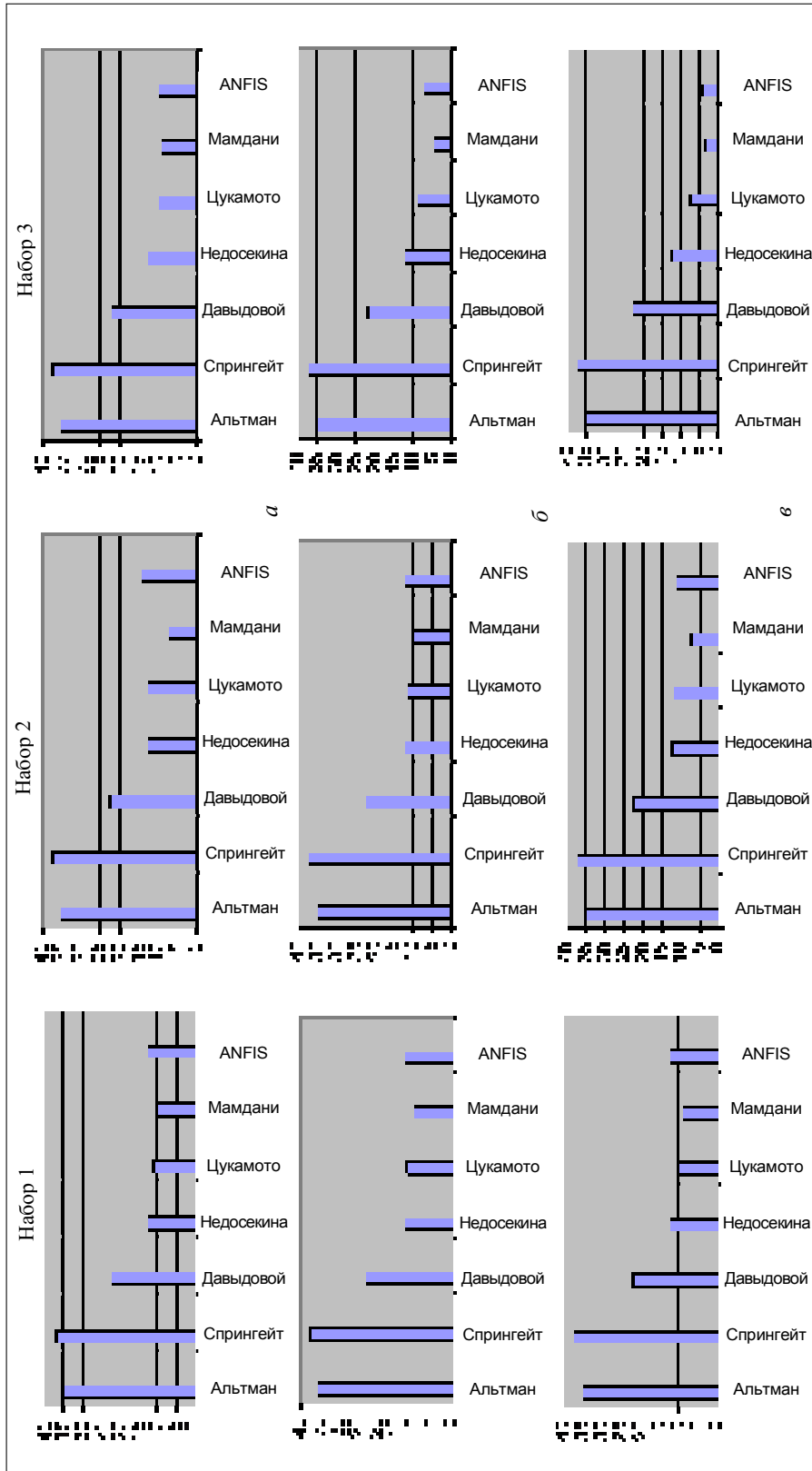


Рис. 4. Сравнение результатов оценки риска банкротства различными методами: а — число правил 20; б — 30; в — 40

3. Все статистические модели показали довольно большую ошибку прогнозирования (в пределах 22...41%). Это ставит под вопрос целесообразность использования данных моделей для анализа финансового состояния украинских предприятий. Основными причинами такой погрешности есть неадаптированность моделей к условиям украинской экономики, предположение относительно однородности, независимости и стационарности данных, которые в данном случае не выполняются вследствие неоднородной выборки предприятий, а также того, что статистические модели лишь анализируют текущее финансовое состояние предприятий и не учитывают динамики изменения показателей во времени.

Итак, для прогнозирования банкротства украинских предприятий предпочтительней использование матричного метода Недосекина. Для повышения точности прогнозирования необходимо проводить его на основе не только количественных, но и качественных характеристик, а также с помощью экспертов проанализировать все показатели предприятия и определить классификацию этих показателей (разбивка на нечеткие подмножества) для конкретного предприятия, учитывая его специфику и специфику отрасли, к которой оно относится. Для более всесторонней оценки можно применить объединение статистических методов с матричным.

4. Далее с помощью разработанного программного пакета был проведен анализ финансового состояния 56 предприятий Украины, 13 из которых в 2006 г. арбитражным судом были признаны банкротами. На такой выборке классификация с помощью ННС Цукамото, Мамдани и ANFIS на разных наборах данных не принесла желаемых результатов. Точность классификации составляла в среднем 80–85% на обучающих и тестовых выборках. Такие результаты были обусловлены прежде всего тем, что среди предприятий оказались потенциальные банкроты, о состоянии которых свидетельствовали их финансовые показатели, но судом они банкротами по той или иной причине признаны не были.

Поэтому был применен алгоритм нечеткой самоорганизации Густафсона–Кесселя, который помог выявить такие предприятия. В результате получена новая выборка уже с 25-ю банкротами и 31-м небанкротом. Результаты классификации с помощью упомянутых выше ННС на этой выборке значительно улучшились. Средняя точность выросла до 90–93% на обучающих и тестовых выборках (рис. 4).

ВЫВОДЫ

1. Рассмотрены различные методы оценки риска банкротства предприятий: классический метод дискриминантного анализа Альтмана, нечетко-множественный метод Недосекина, ННС с различными алгоритмами вывода.

2. Проведены сравнительные экспериментальные исследования указанных выше методов применительно к анализу риска банкротства предприятий Украины.

3. Проведенные эксперименты показали, что наиболее предпочтительными для оценки риска банкротства для украинских предприятий оказались

ННС с выводом Мамдани, за ними следует матричный метод Недосекина и, наконец, на последнем месте оказались статистические методы дискриминантного анализа.

Таким образом, в результате проведенных экспериментов установлена практическая целесообразность применения нечетких методов и ННС для оценки риска банкротства предприятий Украины.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Altman E.I.* Corporate Financial Distress. — N.Y.: John Wiley, 1983. — 420 p.
2. *Altman E.I.* Financial Ratios, Discriminant Analysis and the prediction of Corporate Bankruptcy // *Journal of Finance*. — 1968, September. — P. 589–609.
3. *Давыдова Г.В., Беликов А.Ю.* Методика количественной оценки риска банкротства предприятий // *Управление риском*. — 1999. — № 3. — С. 13–20.
4. *Зайченко Ю.П.* Основы проектирования интеллектуальных систем: Навчальний посібник. — Київ: Видавничий дім «Слово», 2004. — 352 с.
5. *Недосекин А.О., Максимов О.Б., Павлов Г.С.* Анализ риска банкротства предприятия. Методические указания по курсу «Антикризисное управление. — http://sedok.narod.ru/sc_group.htm.
6. *Недосекин А.О.* Комплексная оценка риска банкротства корпорации на основе нечетких описаний. — http://sedok.narod.ru/sc_group.htm.

Поступила 19.11.2008

КОНТЕКСТНО-АСОЦІАТИВНИЙ ПІДХІД ДО АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИПРАВЛЕННЯ ОРФОГРАФІЧНИХ ПОМИЛОК

В.П. ТАРАСЕНКО, А.Ю. МИХАЙЛЮК, Т.М. ЗАБОЛОТНЯ

Показано, що введення фільтрації варіантів виправлення помилок за семантичним критерієм до схеми орфокорекції забезпечує високий рівень точності роботи програмного коректора та уможлиблює його функціонування у реальному часі. Відступ від традиційної послідовності аналізу текстових даних дозволяє проводити контекстно-асоціативну обробку оточення спотвореного слова на будь-якому етапі орфокорекції. Запропоновано спосіб оцінювання точності роботи алгоритму виправлення помилок. Визначені актуальні питання реалізації контекстноорієнтованої орфокорекції, які мають бути вивчені при подальшій розробці подібних програмних засобів.

ВСТУП

Характер постановки та шляхи вирішення задачі автоматизованого виправлення орфографічних помилок у текстових даних різняться у залежності від масштабу та призначення відповідних інформаційних систем. Основою функціонування більшості автокоректорів є використання морфологічних моделей частин природної мови та результатів синтаксичного аналізу контексту слова з помилкою. Перевірка узгодженості за змістом варіантів виправлення спотвореного слова з його контекстним оточенням, як правило, не входить до функціональних профілів систем реального часу через високий ступінь складності алгоритмів її реалізації.

Сучасні досягнення у галузі створення *linguage* дозволяють вивести на якісно новий рівень розв'язання задачі встановлення семантичної відповідності варіантів виправлення спотвореного слова його контексту. У даній роботі доводиться доцільність використання контекстно-асоціативного підходу до відбору варіантів виправлення під час проведення орфокорекції в реальному часі, а також пропонується модифікація загальноприйнятої схеми корекції для підвищення точності виправлення орфографічних помилок прикладними програмними засобами із покращенням часових характеристик їх роботи.

СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ ПОБУДОВИ ПРОГРАМНИХ АВТОКОРЕКТОРІВ

На сьогоднішній день більшість систем автоматичної обробки текстів (АОТ), зокрема орфокоректори, працюють відповідно до класичної послідовної схеми аналізу даних (морфологічний, синтаксичний, семантичний рівні аналізу, причому «результати кожного попереднього рівня є вихідною

інформацією для наступних» [1]). Звідси перевірка семантичної узгодженості варіантів виправлення із контекстним оточенням спотвореного слова (якщо вона взагалі передбачена) має розміщуватися наприкінці алгоритму орфокорекції [2]. Але, не дивлячись на сучасний прогрес у галузі побудови *lingware*, розробники систем реального часу найчастіше взагалі уникають використання семантичного аналізу даних та віддають перевагу підвищенню ефективності роботи коректорів за рахунок створення нових алгоритмів формального підбору варіантів виправлення спотвореного слова. На жаль, у такий спосіб не вдається істотно покращити точність отримуваних результатів, тому коректори повертають користувачеві список усіх варіантів виправлення, які задовольняють формальним критеріям близькості слів, але за змістом не відповідають контексту [3–5]. У таких випадках остаточний вибір правильного варіанту покладається на людину.

Між тим, фахівці у галузі побудови систем АОТ наголошують на відсутності функціональної ізолюваності етапів аналізу природномовного тексту. Згідно з цим морфологічний аналіз може не лише надавати вихідні дані для синтаксичного та семантичного аналізу, але й використовувати результати їх роботи [6–9]. Звідси, на думку авторів, порушення класичної схеми аналізу тексту повинно сприяти використанню у повній мірі можливостей семантичного рівня аналізу для підвищення точності та швидкості роботи програмного забезпечення виправлення орфографічних помилок.

ВИХІДНА СХЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ВИПРАВЛЕННЯ ОРФОГРАФІЧНИХ ПОМИЛОК

Загальноприйнята схема автоматизованої корекції спотвореного слова [10] передбачає реалізацію таких етапів:

- висунення гіпотез (вірогідних варіантів виправлення помилки);
- перевірка гіпотез та ухвалення однієї (декількох) з них як виправлення, що пропонується програмою до внесення.

На першому етапі послідовно виконуються *підбір* первинної множини варіантів виправлення із словника та *попередня фільтрація* її вмісту. Для реалізації даного етапу використовуються *найпростіші* та *найшвидші* методи пошуку варіантів корекції слова (наприклад, підбір гіпотез за критерієм альфакоду, довжини слова, збігу першої літери слова тощо) [10].

На другому етапі виконується перевірка гіпотез на подібність до спотвореного слова за певними критеріями. Тут задіяні більш *складні*, але водночас і більш *точні* методи аналізу набору гіпотез (наприклад, відстань редагування В.Левенштейна) [5, 10, 11].

Таким чином, умовне віднесення методів визначення варіантів виправлення орфографічних помилок до певного етапу процесу орфокорекції здійснюється на основі їх характеристик (швидкості, точності тощо).

З іншого боку, всі методи перевірки гіпотез виправлення (на обох етапах) за своєю суттю є фільтрами заданої множини слів, адже в результаті застосування кожного з них відбувається звуження поточної множини варіантів корекції спотвореного слова. З огляду на це у даній роботі пропонується внести уточнення в подання вихідної схеми орфокорекції (рис. 1): бу-

демо вважати таким, що відноситься до етапу висунення гіпотез, тільки метод підбору гіпотез виправлення із словника; усі ж методи фільтрації множини слів, отриманої на першому етапі, перенесемо до другого етапу — етапу перевірки гіпотез.

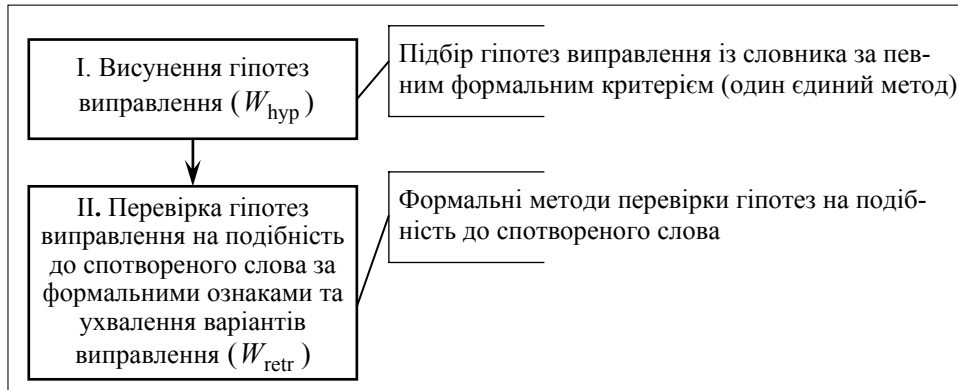


Рис. 1. Вихідна схема виправлення орфографічних помилок

Для оцінки ефективності роботи програмних засобів машинної корекції помилок введемо функцію фільтрації заданої множини слів за певною ознакою.

Визначення 1. Функція $\text{filter} : W_x \rightarrow W_y$ називається фільтром множини W_x , якщо за її допомогою з елементів W_x проводиться формування множини слів W_y , які відповідають певному критерію схожості із спотвореним словом $\text{error_word} (W_y \subseteq W_x)$.

$$\text{filter} : W_x \rightarrow W_y, W_y \subseteq W_x, \quad (1)$$

де W_x, W_y — множини природномовних слів.

Властивості даної функції:

$$1) \text{filter} (W_A \cup W_B) = \text{filter} (W_A) \cup \text{filter} (W_B); \quad (2)$$

2) якщо $|W_A| < |W_B|$, то час, необхідний для виконання фільтрації даних множин, характеризується нерівністю

$$t_{\text{filter}(W_A)} < t_{\text{filter}(W_B)}; \quad (3)$$

3) при застосуванні композиції фільтрів $F = \text{filter}_n \circ \text{filter}_{n-1} \circ \dots \circ \text{filter}_2 \circ \text{filter}_1 : W_x \rightarrow W_y, W_y \subseteq W_x$ до множини слів W_x від перестановки складових filter_i місцями результат W_y не змінюється. Тривалість виконання даних функцій, навпаки, змінюється у залежності від порядку їх застосування.

Оскільки функції, які застосовуються в межах етапу перевірки гіпотез (рис. 1), є фільтрами, їм притаманні властивості визначеної вище функції filter .

Позначимо функцію, за допомогою якої проводиться підбір гіпотез виправлення W_{hyp} зі словника, як

$$f1 : W_{\text{dict}} \rightarrow W_{\text{hyp}}, W_{\text{hyp}} \subseteq W_{\text{dict}}. \quad (4)$$

Вважатимемо, що fI забезпечує висунення оптимальної (за показниками кількості слів, міри їх формальної схожості на спотворене слово $error_word$ та швидкості отримання) множини гіпотез W_{hyp} для її ефективної перевірки на наступному етапі орфокорекції. Час, протягом якого триває виконання fI , позначимо $t_I = t_{fI}(W_{dict})$.

Фільтри, які використовуються на *етапі перевірки гіпотез*, позначимо

$$FII = fII_m \circ fII_{m-1} \circ \dots \circ fII_i \circ \dots \circ fII_2 \circ fII_1 : W_{hyp} \rightarrow W_{retr}, \quad m \geq 1, \quad (5)$$

де $fII_i : WII_{i-1} \rightarrow WII_i$ ($i = 1, 2, \dots, m$) — фільтр множини слів, отриманої у результаті виконання fII_{i-1} (для fII_1 — множини W_{hyp}); W_{retr} — множина слів, визначених коректором як можливі варіанти виправлення за формальними ознаками їх близькості до спотвореного слова.

Будемо вважати, що FII містить необхідний та достатній набір функцій, послідовне застосування яких до множини W_{hyp} забезпечує оптимальне

співвідношення часу $t_{II} = t_{fII_1}(W_{hyp}) + \sum_{k=2}^m t_{fII_k}(WII_{k-1})$, витраченого на виконання зазначених функцій та точності отриманого результату.

Оскільки визначення гіпотез виправлення здійснюється шляхом їх пошуку в словнику (а не за допомогою безсловникової генерації), при визначенні показників ефективності орфокорекції можна провести певні паралелі з оцінками результатів роботи програм у теорії інформаційного пошуку [12].

Визначення 2. Під *точністю* машинної орфографічної корекції спотвореного слова матимемо на увазі відношення числа запропонованих орфокоректором вірних варіантів написання слова (це одиниця або нуль) до загальної кількості підібраних слів.

$$PRECISION = \frac{|W_{corr} \cap W_{retr}|}{|W_{retr}|}, \quad (6)$$

де W_{corr} — множина вірних варіантів корекції спотвореного слова у словнику.

Відповідно до формули (6), для того, щоб досягти високого показника точності роботи орфокоректора, необхідно, по-перше, забезпечити постійне входження вірного слова до сформованого масиву варіантів виправлення ($|W_{corr} \cap W_{retr}| = 1$), а по-друге — зменшити загальну кількість слів, які пропонуються програмою як найбільш вірогідні кандидати виправлення помилки (W_{retr}).

МІСЦЕ СЕМАНТИЧНОЇ СКЛАДОВОЇ У МОДИФІКОВАНІЙ СХЕМІ ВИПРАВЛЕННЯ ОРФОГРАФІЧНИХ ПОМИЛОК

Розглянемо можливі варіанти модифікації вихідної схеми орфокорекції шляхом введення до різних її етапів семантичної складової, а також проаналізуємо, як дані зміни вплинуть на показники точності та швидкості роботи відповідної програми.

Формування множини гіпотез виправлення за семантичним критерієм із заданого набору слів здійснюватимемо за допомогою функції f_{cont} . Визначимо дану функцію як фільтр вихідного набору слів для відбору тих лексем, що узгоджені з контекстним оточенням спотвореного слова.

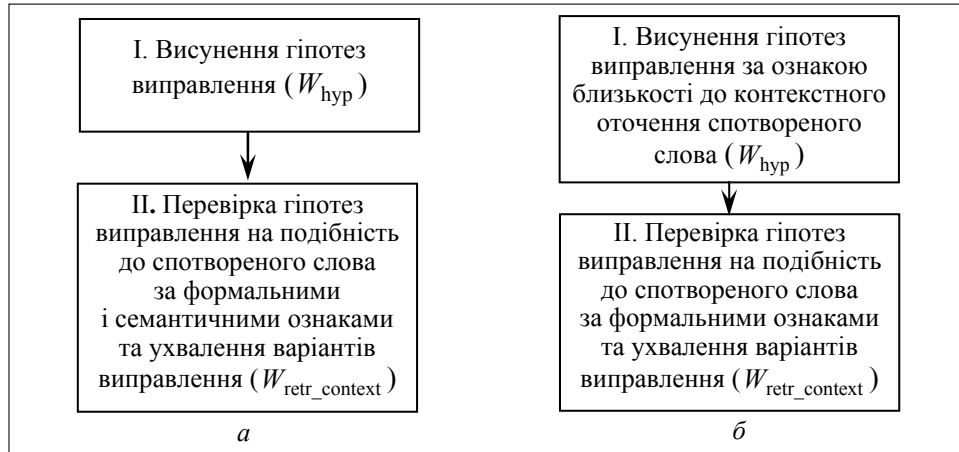


Рис. 2. Варіанти модифікації схеми виправлення орфографічних помилок

I варіант (рис. 2,а) — введення контекстно-асоціативної фільтрації до етапу перевірки гіпотез виправлення.

Оскільки склад композиції функцій FII за визначенням (5) є необхідним та достатнім для ефективної обробки гіпотез виправлення, будь-які зміни у ньому спричинять зниження ефективності роботи орфокоректора хоча б за одним із показників. Крім того, повна заміна формальних процедур перевірки слів FII семантичною f_{cont} неможлива, через те що варіанти виправлення мають відповідати як вимогам контекстної близькості, так і формальним критеріям схожості слів. Тому проаналізуємо можливість поєднання f_{cont} та FII без внесення змін до складу останньої.

$$FII' = fII_m \circ \dots \circ fII_i \circ f_{\text{cont}} \circ fII_{i-1} \circ \dots \circ fII_1 : W_{\text{hyp}} \rightarrow W_{\text{retr_context}}, \quad m \geq 1, (7)$$

де $W_{\text{retr_context}}$ — множина слів, визначених як можливі варіанти виправлення спотвореного слова з урахуванням семантики його контексту.

Твердження 1. Введення функції f_{cont} до послідовності формальних фільтрів FII сприяє підвищенню точності роботи коректора (PRECISION).

Доведення. Нехай WII_{i-1} — результат фільтрації множини W_{hyp} із використанням композиції функцій $fII_{i-1} \circ \dots \circ fII_2 \circ fII_1 : W_{\text{hyp}} \rightarrow WII_{i-1}$ (для $i = 1$ роль WII_{i-1} виконує безпосередньо W_{hyp}). Для FII та FII' вміст WII_{i-1} є однаковим, адже вихідна множина гіпотез і набір функцій, які до неї застосовуються, у цих двох випадках не відрізняються. f_{cont} за визначенням є фільтром, тому справедливе твердження $f_{\text{cont}} : WII_{i-1} \rightarrow WII_{\text{cont},i-1}$, $WII_{\text{cont},i-1} \subseteq WII_{i-1}$, де $WII_{\text{cont},i-1}$ — результат фільтрації слів з WII_{i-1} за ознакою близькості за змістом до контекстного оточення спотвореного слова.

Звідси маємо

$$WII_{\text{cont}_{i-1}} \cup \Delta W_{\text{cont}_{\text{out}}} = WII_{i-1}, \quad (8)$$

де $\Delta W_{\text{cont}_{\text{out}}}$ — частина множини WII_{i-1} , яка була виключена із подальшої обробки через невідповідність семантичному критерію фільтрації слів.

Перевірка множин WII_{i-1} та $WII_{\text{cont}_{i-1}}$ за допомогою функцій, які входять до складу композицій FII та FII' , відповідно, проводиться, починаючи з фільтру fII_i .

$$\begin{aligned} WII_{i-1} &\xrightarrow{fII_i} WII_i, \quad WII_i \subseteq WII_{i-1}, \\ WII_{\text{cont}_{i-1}} &\xrightarrow{fII_i} WII_{\text{cont}_i}, \quad WII_{\text{cont}_i} \subseteq WII_{\text{cont}_{i-1}}. \end{aligned}$$

Відповідно до (2) та (8) можна записати

$$\begin{aligned} fII_i(WII_{i-1}) &= fII_i(WII_{\text{cont}_{i-1}}) \cup fII_i(\Delta W_{\text{cont}_{\text{out}}}) \Rightarrow \\ \Rightarrow WII_i &= WII_{\text{cont}_i} \cup fII_i(\Delta W_{\text{cont}_{\text{out}}}) \Rightarrow |WII_{\text{cont}_i}| \leftarrow |WII_i|. \end{aligned}$$

Застосування фільтру fII_{i+1} характеризується аналогічно.

$$\begin{aligned} WII_i &\xrightarrow{fII_{i+1}} WII_{i+1}, \quad WII_{i+1} \subseteq WII_i, \\ WII_{\text{cont}_i} &\xrightarrow{fII_{i+1}} WII_{\text{cont}_{i+1}}, \quad WII_{\text{cont}_{i+1}} \subseteq WII_{\text{cont}_i}. \end{aligned}$$

Звідси

$$\begin{aligned} fII_{i+1}(WII_i) &= fII_{i+1}(WII_{\text{cont}_i}) \cup fII_{i+1} \circ fII_i(\Delta W_{\text{cont}_{\text{out}}}) \Rightarrow \\ \Rightarrow WII_{i+1} &= WII_{\text{cont}_{i+1}} \cup fII_{i+1} \circ fII_i(\Delta W_{\text{cont}_{\text{out}}}) \Rightarrow |WII_{\text{cont}_{i+1}}| \leftarrow |WII_{i+1}|. \end{aligned}$$

У результаті отримуємо

$$\begin{aligned} fII_m(WII_{m-1}) &= fII_m(WII_{\text{cont}_{m-1}}) \cup fII_m \circ fII_{m-1} \circ \dots \circ fII_i(\Delta W_{\text{cont}_{\text{out}}}) \Rightarrow \\ \Rightarrow W_{\text{retr}} &= WII_m = WII_{\text{cont}_m} \cup fII_m \circ fII_{m-1} \circ \dots \circ fII_i(\Delta W_{\text{cont}_{\text{out}}}) = \\ = W_{\text{retr_context}} &\cup fII_m \circ fII_{m-1} \circ \dots \circ fII_i(\Delta W_{\text{cont}_{\text{out}}}) \Rightarrow |W_{\text{retr_context}}| \leq |W_{\text{retr}}|. \end{aligned}$$

Отже, відповідно до (6) введення семантичної функції f_{cont} до послідовності формальних фільтрів FII забезпечує підвищення точності роботи коректора (PRECISION), завдяки проведенню більш ретельної фільтрації гіпотез виправлення, що і необхідно було довести.

Відмітимо, що місце розташування функції f_{cont} у композиції фільтрів FII , згідно з властивістю (3) функції filter, не впливає на точність роботи відповідної програми.

Проаналізуємо, як зміниться швидкодія машинного орфокооректора при доповненні композиції FII фільтром f_{cont} .

Твердження 2. Для збереження швидкодії даної модифікованої схеми необхідно виконати нерівність

$${}^t f_{\text{cont}}(WII_{i-1}) \leftarrow {}^t fII_m \circ fII_{m-1} \circ \dots \circ fII_i(\Delta W_{\text{cont}_{\text{out}}}). \quad (9)$$

Доведення. Будемо порівнювати час виконання FII та FII' , починаючи від наступної за fII_{i-1} функції (fII_i та f_{cont} відповідно), адже частина $fII_{i-1} \circ \dots \circ fII_2 \circ fII_1 : W_{\text{hyp}} \rightarrow WII_{i-1}$ є спільною для обох композицій. Для того щоб швидкість роботи коректора за наведеною модифікованою схемою була не нижчою за швидкість роботи вихідної схеми, має виконуватися нерівність

$$t_{f_{\text{cont}}}(WII_{i-1}) + \sum_{k=i}^m t_{fII_k}(WII_{\text{cont}_{k-1}}) \Leftarrow \sum_{k=i}^m t_{fII_k}(WII_{k-1}). \quad (10)$$

Вище було доведено, що $|WII_{\text{cont}_k}| \Leftarrow |WII_k|$, де $k = i-1, i, \dots, m$. Тому,

виходячи з властивості функції filter (3), отримуємо $\sum_{k=i}^m t_{fII_k}(WII_{\text{cont}_{k-1}}) \Leftarrow \sum_{k=i}^m t_{fII_k}(WII_{k-1})$. А на основі того, що WII_{cont_k} відрізняється від WII_k на

множину $fII_k \circ \dots \circ fII_{i+1} \circ fII_i(\Delta W_{\text{cont_out}})$, де $k \geq i$, можна зробити такий висновок: час, витрачений на фільтрацію f_{cont} має бути компенсовано за рахунок того, що певна частина гіпотез з WII_{i-1} потрапила до $\Delta W_{\text{cont_out}}$ і не буде оброблятися наступними функціями, що і відображено у (9).

Виконанню нерівності (9) сприятиме невисока (така, що не перевищує складності формальних фільтрів) складність алгоритму семантичної фільтрації.

Як наслідок даного твердження можна розглядати таку залежність: чим ближче до початку послідовності формальних фільтрів FII розташовано семантичну функцію f_{cont} , тим більше функцій входять до композиції $fII_m \circ \dots \circ fII_{i+1} \circ fII_i(\Delta W_{\text{cont_out}})$ з правої частини нерівності (9) і, отже, тим вища ймовірність успішної компенсації часу $t_{f_{\text{cont}}}(WII_{i-1})$.

Звідси розташування f_{cont} наприкінці послідовності FII (тобто $f_{\text{cont}} \circ fII_m \circ fII_{m-1} \circ \dots \circ fII_1(W_{\text{hyp}})$) не забезпечує покращення швидкодії орфокоректора, оскільки на виконання функції f_{cont} витрачається додатковий час. Отже, такий варіант модифікації схеми орфокорекції є окремим випадком введення контекстно-асоціативної фільтрації до етапу перевірки гіпотез виправлення і може бути використаний при побудові коректорів, для яких високий показник точності результатів має вищий пріоритет, ніж швидкість роботи програми.

Таким чином, введення семантичного фільтру до етапу перевірки гіпотез забезпечує підвищення точності орфокорекції, а за виконання умови (9) і прискорення роботи програми. При цьому множина гіпотез виправлення формується шляхом підбору лексем із словника за *формальною ознакою* схожості із спотвореним словом.

Розглянемо інший випадок модифікації схеми автоматизованої орфокорекції, коли визначення варіантів виправлення `errg_word` починається з виконання f_{cont} (тобто, коли f_{cont} виконує роль fI і, відповідно, розташована на етапі висунення гіпотез).

II варіант (рис. 2,б) — висунення гіпотез виправлення за ознакою семантичної близькості до контекстного оточення спотвореного слова *errog_word*.

Необхідно зазначити, що при введенні f_{cont} замість fI до етапу перевірки гіпотез має бути додана функція фільтрації множини варіантів виправлення за формальним критерієм, відповідно до якого виконувалося висунення гіпотез. Це обумовлено тим, що відсутність перевірки лексем за критерієм подібності до *errog_word*, яку реалізувала fI під час підбору гіпотез із словника, може негативно вплинути на точність роботи орфокоректора.

Окремо зупинимось на тому, що ефективне висунення гіпотез виправлення за ознакою семантичної близькості до контексту спотвореного слова можливе лише за умови використання коректором якісно укладеного лексико-семантичного словника. Цей лінгвістичний ресурс, як правило, має просту та зрозумілу форму опису знань і подається у вигляді орієнтованого графа $G = (W_{dict}, E)$, вершинами якого є лексеми природної мови W_{dict} , пов'язані між собою лексико-семантичними відношеннями з множини E [13]. Така архітектура словника відповідає принципам організації пам'яті людини, є близькою до семантичної структури природномовних фраз, а також дозволяє кількісно обчислювати міру близькості слів за змістом.

Твердження 1а. Введення семантичної функції f_{cont} до етапу висунення гіпотез схеми орфокорекції сприяє підвищенню точності роботи коректора (PRECISION).

Доведення. Відправною точкою доведення є факт, що потужність множини W_{dict_cont} , отриманої шляхом аналізу вмісту словника функцією f_{cont} , є меншою, ніж вміст цілого словника, а значить можна стверджувати, що $W_{dict_cont} \cup \Delta W_{cont_out} = W_{dict}$. Даний вираз є подібним до (8). Звідси подальше доведення твердження 1а відбувається аналогічно до доведення твердження 1.

Твердження 2а. Для прискорення функціонування коректора, алгоритм роботи якого передбачає висунення гіпотез за ознакою семантичної близькості до контексту спотвореного слова, у порівнянні із коректором, що працює за вихідною схемою, необхідна справедливість нерівності

$${}^t f_{cont}(W_{dict}) - {}^t fI(W_{dict}) \Leftarrow {}^t fII_{m \circ \dots \circ fII_1}(W_{hyp}) - {}^t fII_{m \circ \dots \circ fII_1} \circ fI(W_{hyp_cont}) \cdot (11)$$

Доведення. Мета, відповідно до якої ми модифікуємо схему орфокорекції, — це зменшення сумарного часу виконання етапів виправлення помилок.

$${}^t f_{cont}(W_{dict}) + {}^t fII_{m \circ \dots \circ fII_1} \circ fI(W_{hyp_cont}) \Leftarrow {}^t fI(W_{dict}) + {}^t fII_{m \circ \dots \circ fII_1}(W_{hyp}), (12)$$

де W_{hyp_cont} — множина лексем, відібраних за семантичним критерієм із словника. Перенесення певних доданків з однієї частини нерівності до іншої дозволяє отримати запис (11), що і потрібно було довести.

Визначення позиції семантичної функції у загальній схемі машинної орфокорекції, яка забезпечила б оптимальне співвідношення швидкодії орфокоректора та рівня точності результатів виправлення, слід проводити, виходячи з того, який принцип формування набору слів, близьких за змістом до заданого контексту, покладений в основу роботи функції f_{cont} .

На основі властивості 2 функції *filter*, а також згідно з (6) можна зробити висновок про те, що показники швидкості та точності роботи програмного забезпечення орфокорекції залежать від потужності множин слів, які ним обробляються. Таким чином, враховуючи особливості реалізації f_{cont} , а також характеристики текстових даних та лексико-семантичних ресурсів, неважко визначити ефективний варіант модифікації схеми орфокорекції для кожного конкретного випадку.

Наприклад, у коректорі, що працює на базі лексико-семантичного ресурсу формату WordNet 3.0, а міру семантичної близькості до контексту обчислює як мінімальну з довжин найкоротших шляхів від заданого слова до елементів контексту за структурою графа G , семантичну функцію доцільно застосовувати на етапі висунення гіпотез виправлення.

Зробимо декілька зауважень відносно подальшого вивчення контекстно орієнтованого підходу до визначення варіантів виправлення спотвореного слова.

1. Залучення елементів семантичного аналізу тексту на початкових кроках процесу корекції у жодному разі не виключає подальшого проведення синтаксичного та семантичного аналізу тексту. Це пояснюється тим, що помилки, які перетворюють слово на іншу лексему, присутню у словнику, можуть бути виявлені та виправлені виключно на синтаксико-семантичному рівні аналізу тексту. Отже, з точки зору розробки кінцевого програмного продукту практичний інтерес становить вивчення можливості використання допоміжних даних, отриманих під час орфокорекції на наступних кроках автоматизованої обробки тексту.

2. Вважаємо, що сферою застосування підходу до висунення гіпотез виправлення за семантичним критерієм, у межах якої він ефективний, є алгоритми роботи інформаційно-пошукових систем (ІПС).

По-перше, корекція слів у такому випадку не потребує синтаксичного узгодження варіантів виправлення, адже для ІПС важливим є визначення базової форми слова.

По-друге, у ролі контексту можуть виступати всі слова запиту. Відносно невелика кількість слів у запитах (~ 71% запитів складається з 2–4 слів [14]) не є перешкодою для застосування семантичного аналізу, тому що навіть одне вірно написане ключове слово може визначити область пошуку варіантів виправлення.

По-третє, користувач під час складання запиту до ІПС намагається вживати ключові слова, які найбільш адекватно відображають його інформаційну потребу та є максимально семантично навантаженими. Тому ймовірність швидкої та точної обробки пошукових запитів є високою.

3. Алгоритми роботи *lingware* часто є евристичними і базуються на емпіричних дослідженнях [7, 8]. Тому доцільно проведення практичного вивчення закономірностей у послідовності вживання типів семантичних відношень у процесі руху словником.

4. Визначення оптимальної комбінації фільтрів, використання якої покращувало б роботу орфокоректора за показниками швидкодії та точності, є багатокритеріальною задачею, що не має універсального розв'язку. Звідси її потрібно вирішувати, виходячи з конкретних умов роботи програми.

5. Для налаштування автокоректора на роботу з текстами певної предметної галузі у відповідному словнику необхідно ввести додаткове ранжування слів за критерієм відповідності їх тематиці галузі.

ВИСНОВКИ

1. Обґрунтовано доцільність відхилення від класичної схеми аналізу текстових даних у межах машинного виправлення орфографічних помилок, а отже і введення контекстно-асоціативного аналізу оточення спотвореного слова до будь-якого етапу корекції.

2. Дано визначення показника ефективності функціонування орфокоректора — точності результатів його роботи (як і швидкодія, вона залежить від кількості слів, що обробляється під час корекції).

3. Доведено факт підвищення точності та визначено умови покращення часових характеристик роботи відповідної програми при введенні до схеми орфокорекції додаткової функції відбору варіантів виправлення за семантичним критерієм. Таким чином, показана можливість реалізації семантичної складової в алгоритмах роботи орфокоректорів у реальному часі.

4. Розглянуто перспективні напрямки подальшого вивчення проблеми контекстно-асоціативного визначення варіантів виправлення спотвореного слова.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грязнухіна Т., Дарчук Н., Олексієнко Л. Система автоматичного аналізу українського наукового тексту // Проблеми українізації комп'ютерів: Тези доп. наук. конф. — Л., 1991. — С. 19–20.
2. Johannes Schaback and Fang Li. Multi-Level Feature Extraction for Spelling Correction In Proceedings of the IJCAI-2007 Workshop on Analytics for Noisy Unstructured Text Data. — Hyderabad, India. — January 8, 2007. — P. 79–86.
3. Лавошинова Э.К. Об организации системных словарей компьютерных орфо-корректоров // НТИ: Сер. 2. — 2004. — № 9. — С. 31–38.
4. Лавошинова Э.К. О компьютерной коррекции «популярных» ошибок в текстах на русском языке // НТИ: Сер. 2. — 2003. — № 9. — С. 28–34.
5. Кондратюк Д. Корекція орфографічних помилок в українському тексті // Проблеми українізації комп'ютерів: Матеріали 2-ї міжнар. конф. — Львів, 29 вересня–1 жовтня 1992 р. — Ін-т кібернетики ім. В.М. Глушкова. — Київ. — 1992. — С. 51–55.
6. Марченко О.О. Алгоритми семантичного аналізу природномовних текстів: Автореф. дис.канд.фіз.-мат. наук. — Київ, 2005. — 150 с.
7. Леонтьева Н.Н. «Политекст»: информационный анализ политических текстов // НТИ: Сер.2. — 1995. — №4. — С. 4–17.
8. Экспериментальная система автоматизированного обнаружения и исправления орфографических ошибок в текстах / Г.Г. Белоногов и др. // НТИ: Сер. 2. — 1984. — № 3. — С. 20–22.
9. Бондаренко М.Ф., Осыка А.Ф. Автоматическая обработка информации на естественном языке. — Киев: УМК ВО, 1991. — 144 с.
10. Файн В.С., Рубанов Л.И. Машинное понимание текстов с ошибками — М.: Наука, 1991. — 151 с.
11. Михайлюк А.Ю., Заболотня Т.М. Комбінований метод виправлення орфографічних помилок у текстових даних // Вісн. Хмельницького національного ун-ту. — 2007. — 2, № 2. — С. 21–26.
12. Пещак М.М. Нариси з комп'ютерної лінгвістики. — Ужгород: Закарпаття, 1999. — 200 с.
13. Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф. Базы знаний интеллектуальных систем. — СПб.: Питер, 2000. — 384 с.
14. Ландэ Д.В. Поиск знаний в Internet. — М.: Диалектика, 2005. — 271 с.

Надійшла 13.12.2007

ACADEMIC SEGMENT OF UKRAINIAN GRID INFRASTRUCTURE

E. MARTYNOV, S. SVISTUNOV, G. ZINOVJEV

Ukrainian Academic Grid (UAG) is presented as a powerful computing resource for fundamental and applied scientific research which are carried out at the NAS of Ukraine (NASU). Information on activity, structure, computational power and problems of UAG follows a short historical outlook. Contribution of UAG to the Ukrainian National Grid Initiative (UNGI) is emphasized. Examples of a cooperation of NASU institutes with international grid projects and organizations, in particular, with WLCG, EGEE and EGI are presented. Prospects of UAG and UNGI activities in developing various Grid applications within various scientific areas are shown.

INTRODUCTION

An area of information-computing technologies has been fundamentally modified afterwards the basic idea of the spatially distributed computing appeared in the eighties of the last century. Grid technologies occupied an important unless the most quickly progressing place in this area. Their principles have been logically and adequately formulated by I. Foster and C. Kesselman [1]. It is the authors' opinion that *"A computational grid is a hardware and software infrastructure that provides dependable, consistent, pervasive, and inexpensive access to high-end computational capabilities"*. In other words the grid looks to users like one powerful computer with unlimited resources (processors, RAM, storages etc.).

The impetuous development of grid technologies in the world is caused by the increasing complexity of computational problems in the various human activities, on the one hand, and by the fast progress of computer material resources and the perfect element resources of modern computers, on the other one. An increase of the computing capacity and the Internet links getting cheaper rate play almost a key role in this process inasmuch as grid uses the Internet as data communications medium.

From the outset grid technologies have been mainly applied for high energy

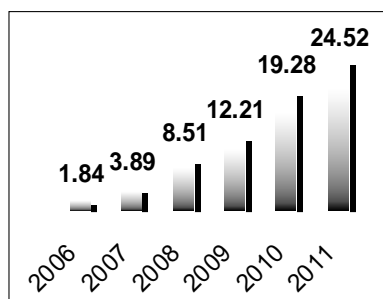


Fig. 1. Funds for developing Grid in the world (in billion dollars)

physics. Now they have already penetrated in the various fundamental and applied sciences (from physics and astrophysics till Earth sciences and biomedical ones) and are steadily advancing in industry, economics and social life. It is timely to refer to the analysis done by the INSIGHT Research Corporation in 2006 [2]. According to published thesis "Grid Computing: A Vertical Market Perspective 2006-2011" the investment to the Grid technologies will increase from 1.84 billion in 2006 to 24.52 billion in 2011 (fig. 1).

Developing the grid technologies, building the national and international grid infrastructures is naturally fitting in the objective globalization processes in economics, sciences and culture. The international associations and projects are playing now an increasingly appreciable role in sciences and economics. Moreover, it is a challenge for any country to realize independently some research projects such as program of studying a microcosm using the most powerful collider of elementary particles and nuclei — LHC (Large Hadron Collider) at CERN. These projects require quite serious data-processing support which grid can satisfy.

Nowadays there is none of highly developed countries which reject an idea to build up a proper grid network. We can state with assurance a country that has not grid infrastructure and is not drawn into the world Grid community could not even pretend to be a developed one. Thus, a development and application of Grid technologies for the daily social life becomes a strategic trend for each state which is anxious about scientific, economic and social progress.

GRID TECHNOLOGIES AND GRID INFRASTRUCTURE

From the practical view point the grid is a service for sharing spatially distributed computer systems into one vast computing resource to provide more efficient use of computing resources available and to solve the problems which need the serious computing power. Functionally the grid infrastructure has to ensure:

- **Effective intercommunication of heterogeneous computers or computer systems.**
- **HPC — high-performance computing.** Grid allows to share resources for performing great computations (for example, data processing from LHC at CERN), which cannot be done using an individual computer system.
- **Processing of huge data array**, which can be stored in different remote memory. These calculations must usually occur with extra load conditions in computing and communication resources.
- **Support and operational compatibility of different virtual organizations (VOs).** Grid has to support a cooperative activity of the real VOs members and to provide, as required, the intercommunication of different VOs through the middleware.

To realize the functions listed above grid as a data processing infrastructure must have three principal components:

- 1) clusters or single computers (proper computing and operating resources);
- 2) Internet high-speed channels, (Internet HSC);
- 3) middleware.

The necessity to use the grid technologies in the National Academy of Sciences of Ukraine (NASU) mainly evolves from recent research areas, appearance of new computational problems with unexampled high demands to computation and data processing capacity, computation speed as well. These problems arise, for example, in high energy physics and astrophysics, biophysics and biology, science of materials, Earth sciences and many others, both fundamental and applied studies. As it was proved grid technologies can be installed (with minimal financial costs) into a daily practice of institute regardless of its geographical lo-

cation in such a way that any researcher gains the access to the computational resources even though his institute does not have such resources.

The factors listed above have been counted for working up the academic grid project. The particular qualities and characteristics of grid technologies as well as the building of grid systems utilizing an experience of other countries and numerous grid projects have been taken into account. The efforts were made to avoid the subsequent difficulties encountered in building the branched grid infrastructure of NASU and on the whole in Ukraine. First of all, it concerns the limited funding which forces to formulate a certain strategy and tactics; secondly, the deficiency of qualified specialists which know about the grid technologies (in particular, among the specialists who does not work with the information discipline).

HISTORY OF GRID INFRASTRUCTURE CREATION IN NASU

The chronology of facts and events related to the creation of the first Ukrainian grid infrastructure clearly demonstrates how these problems were overcome by the initiators of grid infrastructure realization in Ukraine.

While computational clusters were created since 1999 (Glushkov Institute of Cybernetics, NASU (Kiev), Kiev National University, Institute of Condensed Systems, NASU (Lviv), State Scientific Institution “Monocrystal”, NASU (Kharkiv) the first grid site appeared in Ukraine at 2004. It was created by the group of physicists from National Scientific Center “Kharkov Institute of Physics and Technology”. The computer cluster was built in the framework of collaboration with Joint Institute of Nuclear Researches (JINR, Dubna, Russia) and participation in CMS (Compact Muon Solenoid) experiment at LHC which is one of the large experiments planned to run at CERN (Geneva, Switzerland).

The practical steps in realization of more or less systematic approach creating grid system in the country were made at 2005 only.

During several last years the scientists of the Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of NASU were discussing the problems of constructing the powerful computing capacities necessary for an analysis of experimental data in high energy physics at the Ukrainian academic Institutes and Universities. Eventually at the end of 2005 the consensus has been reached that the Ukrainian community will try to contribute at CERN not only to physics but to the computing support of the future LHC experiments. Such a collaboration will provide, first of all, a direct access to the new data necessary for the theorists to develop and verify new physical ideas and, secondly, will help to the Ukrainian physicists “to be in the centre of events” due to the grid possibilities maintaining the close professional contacts with CERN which is a world leading research organization.

It has been underlined that the grid technology application is an extremely advanced method not only for high energy physics, but it can help to solve various fundamental and practical high computational problems in many branches of fundamental research. It opens the new horizons in the research process as well and activates the international cooperation in different human activities. That was a strong motivation for the initiators to be targeted on creating the grid infrastructure which could be used by the NASU scientists and specialists from other institutions operating with high computational problems.

The conception of grid development and its application in BITP has been unambiguously supported by the director of Institute, Academician A. Zagorodny. At that time there was not high speed channel in the Institute for Theoretical Physics and the prototype grid site of 2 servers has been created in Computer Center of Taras Shevchenko Kiev National University (CC KNU). Due to a tight collaboration of BITP and ALICE Collaboration (A Large Ion Collider Experiment) [3] the grid site has been certified by AliEn-grid (ALICE-Environment-grid) [4] (the Grid organization for providing the computing resource for the ALICE experiment at CERN).

In June 2005 the session of Coordinating Board for Informatics of NASU was held at BITP. The project to create the grid computer cluster at BITP has been comprehensively discussed and approved. The practical work was triggered up with quite clear prospects. At the end of 2005 the computer cluster of 10 nodes (double processors) has been built and the grid middleware has been installed.

Several events which took place on April 2006 have provided the progress in the grid development at BITP and NASU. The Institute received the fiber-optic channel with capacity 2 Mb/s and an access to the academic Internet network – UARNET. The first grid tasks which had come to the cluster from CERN and the other AliEn-grid Institutes were quickly elaborated.

On April 25 the National Academy of Sciences of Ukraine has been officially affiliated to the WLCG (Worldwide LHC Computing Grid [5]) organization which has to coordinate the computer (Grid) support for LHC experiments. By April 2006 Conception of the Grid infrastructure development in Ukraine has been approved by the NASU Presidium. At the end of 2006 new grid clusters have been built in five institutes of NASU and in December the first prototype grid system of 2 clusters (BITP and KNU) has been put into operation to process grid network using NorduGrid middleware. Basing on this gained experience it became possible already in April 2007 to combine clusters of six NASU Institutes into the first Ukrainian grid segment.

According to the Program “Grid technologies development and clustering in NASU” it was proposed to solve the main tasks of the Program in 3 phases:

First phase: clustering, pushing forward a collaboration of the Ukrainian scientists in the LHC projects at CERN, propagating an idea of the NASU official participation in WLCG.

Second phase: creation of the first grid segment at NASU and increasing a number of clusters.

Third phase: establishing the Ukrainian Academic Grid (UAG) and presenting UAG as a coordinating center, providing an official participation of NASU in the international (especially European) Grid organizations and projects, continuing the cluster creation.

Tasks of these three phases are practically realized up to now. Ukrainian Academic Grid is successfully functioning.

UKRAINIAN ACADEMIC GRID

Ukrainian Academic Grid (UAG) is a grid infrastructure to share the computer resources of the NASU institutes and universities as well.

The principal tasks of the UAG is to develop the distributed computings and grid technologies to advance computationally intensive fundamental and applied studies NASU. Besides, UAG has to ensure a participation of the Ukrainian scientists in various topical international grid projects.

Structure and organizational management of the UAG

It is well known that grid system is based on three principal elements: computer resources (clusters), high-speed and reliable access of resources to Internet and middleware which unifies these resources into one computer system.

Though the middleware was available even at the beginning of the grid infrastructure creation the clusters and fiber-optic network of NASU were simultaneously built with the grid facilities system development.

The well-known Beowulf idea (www.beowulf.org) as a conceptual model for the computer cluster construction was selected and adopted for realization in NASU. This conception is based on using servers with standard PC architecture, distributed main storage and Gigabit Ethernet technology which unifies computer system. So, all Grid clusters in NASU are built with x86, x86_64 architecture, two- (four-) processor servers of 1-4 GB main storage and 36-500 GB HDD. To provide the inter-server exchange 1GB/s switchers have been used and only in some clusters the InfiniBand is exploited.

At present the UAG shares resources (more than 2500 CPU and about 300 TB of disk memory) of the next organizations (fig. 2).

It should be emphasized that the footprint on hard disks of computer nodes is used for operating system (loading from local disks), program packages and temporary files but it is inaccessible to store the user's files. Each cluster has its disk array to store programs, user's data and information of common use. A free distributed operational system Linux of various modifications (Scientific Linux 2.6.9, Fedora 2.6, CentOS-4.6) on clusters is installed and the task management system OpenPBS is used to start tasks and allocate the cluster utilization.

The idea to enlarge the grid infrastructure user base via the so-called access grid platforms, i.e. the grid clusters with "minimal configuration", has been conceived realizing the NASU Program. Such a cluster holds the control server with installed middleware and minimal computing resource. Working permanently in the conditions of limited funding a system of the access grid platforms proposed and developed in the NASU grid infrastructure allows the specialists of Institutes where there is no an operable cluster to use the academic grid full profile. A local resource broker using available network resources distributes the tasks among the grid infrastructure clusters as the computing requests (small problems require a hands-on operation and large-scale ones are directed to more powerful clusters). With the funds available any mini cluster can be easily is easily extended to the full scale cluster. This policy makes it possible to train system administrators for the work with more power clusters.

The high-speed and reliable access channel to Internet networking is one of the necessary conditions at the grid infrastructure building. Ukrainian Academic and Research Network (UARNET) has built the infrastructure which is capable to unify the academic institutions with fiber-optic channels (capacity 100 Mb/s).

In the Institute for Theoretical Physics which is responsible for the academic grid program running the UAG web site (<http://uag.bitp.grid.ua>) has been designed whereat the information on Grid technologies and Grid development over the world, news and publications can be found.

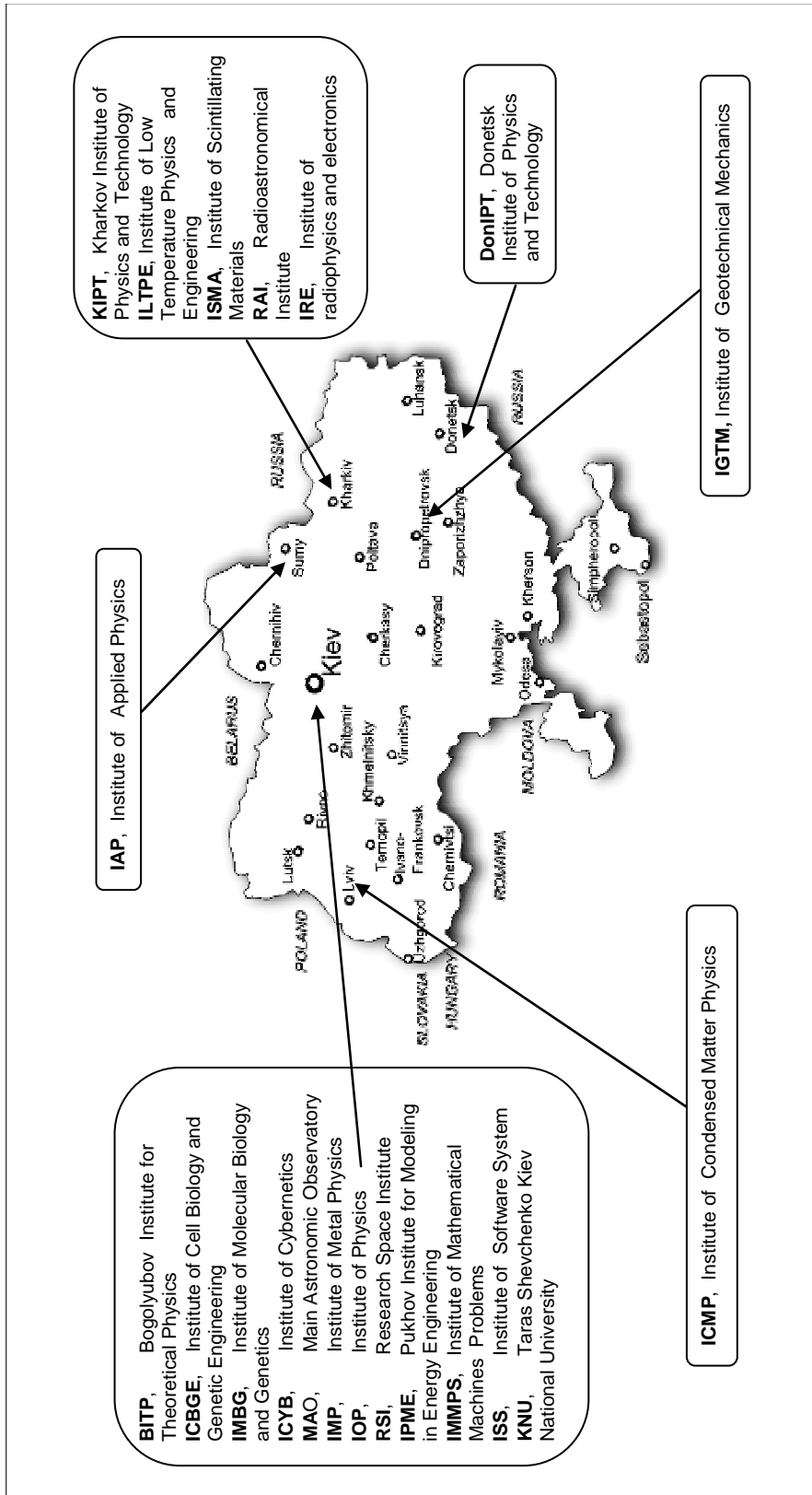


Fig. 2. Ukrainian Academic Grid

Today UAG is operating under the ARC NorduGrid middleware. However in the European Grid projects (WLCG, EGEE [6], EGI [7]) the gLite middleware is recommended as one of the key elements. Then it is clear the task to install gLite instead (or in parallel) of ARC middleware in the NASU Grid infrastructure becomes a work of the first priority.

To solve the “**Interoperability**” and “**Interoperate**” problems the software product GridWay [8] has been chosen as an adapter. More details about this activity in UAG are given in the [9,10].

Fundamental and applied tasks to be solved in UAG

First of all, we consider the NASU grid infrastructure both as a supporting equipment for solving the fundamental and applied problems and as a ground wherein the grid technology methods are proved in accomplishment of various tasks. These methods could and should be used then in the national grid infrastructure whose the function is far wider than the research data computing. Nevertheless, below it is an appropriate list of the scientific areas where new UAG facilities have been already used.

High energy physics

LHC (CERN) experimental data processing, their analysis and comparison to the theoretical results and phenomenological models aiming the full scale participation of the Ukrainian institutes in the ALICE experiments (BITP, KNU, IC, KIPT, ISMA, NTU KPI) and CMS ones (KIPT).

Astrophysics and astronomy

- Dynamical computing of an evolution of the star concentration in the Galaxy external field. The hydrodynamic modeling of collision and fragmentation of the molecular clouds. Analysis of N-body algorithm and parallel computing on the GRAPE clusters. Cooperation with AstroGrid-D (MAO).

- Theoretical analysis and the observation processing of primary, roentgen and gamma radiation data which are obtained from the satellite telescopes INTEGRAL, SWIFT and others (BITP, KNU, MAO).

- Creation and formation of VIRGO – VIRTual Gamma and Roentgen Observatory (BITP, KNU).

- Development of nuclei activity models of Galaxy and star concentrations. Testing the dark matter and dark energy models. Collaboration with Lausanne and Geneva universities (BITP, GAO).

Biophysics and biology

- Computing of thermodynamic characteristics, infrared and electron spectra of sputter DNA fragments. Study of bionanohybrid system structures composed by DNA and RNA of different sequence (ILTPE, IC).

- Molecular dynamic computing of Fts-Z-protein systems with the low-molecular associations (ICBGE).

- Computer simulation of the spatial structure and molecular dynamics of cytokine-tyrosine-RNA synthetase (IMBG).

Nanotechnologies

- Computing of nanostructure oxides which seem to be perspective high-temperature superconductors, as well as physical characteristics of the DNA fragment with transition metal ions which could be good nano-conductors.

- Computing of structures and interaction energy of bio-nano-hybrids on basis of the single-shell carbon nano-tubes with the various bio-objects (ILTPE, IMP, IC).

Environment monitoring

- Weather forecast parameters on the Ukrainian terrain based on the computer simulation and satellite data. Estimate of biodiversity as ecologic parameter on Ukrainian terrain (ISR, IC).
- Development of GEO-UA information infrastructure (ISR).

Structuring UAG

The future development of grid technologies in NASU should be focused on their application in the specific research. There are three directions for creating and using the grid technologies which have to be applied in the daily research work in the near future:

- work out new packages for computing on one multiprocessor cluster and on several various distributed clusters as well;
- adapt the relevant middleware for parallel processing;
- use the developed and free distributed license middleware which has been already tested in domestic and foreign institutions.

It is well-known fact there are a lot of highly-qualified specialists in Ukraine and in NASU, in particular, which are able to resolve the problems of this type. There is a need to manage and provide them with the financial and material resources as well as the cooperation between the computer specialists and physicists, chemists, biologists, engineers and others who are interested in the Grid applications and feel this cooperation will be fruitful.

The strategic emphasis in development of UAG should be primarily placed on the creation of such a system which is based on the power supercomputer centres allowing the distributed parallel computing with using ten or even hundred processors. Then any academic institution in Ukraine or research group could have a required time for computing and the facilities of these centers could be optimally used with the grid technology advantages. The world experience, in particular, demonstrates a prospect of such an approach. At the same time there is a need to increase a quantity of the grid sites in the NASU institutes in order to more and more scientists could have an access to the large computing resources.

It is essential to realize that the grid infrastructure with a lot of grid sites can not be merely global computational resources with minimal management. At 2009 UAG has 22 powerful grid clusters and the access grid network platforms. In the world practice examples the grid infrastructure organizations abound within the big projects which consolidate the institutes and laboratories of many countries as well as within the national projects for the countries working separately.

According to the WLCG scheme the infrastructure of UAG should be built as three-level system in respect to an **organization and management**:

First level: Basic Coordinating Centre (BCC) which governs UAG mainly through the regional centres.

Second level: Regional Operating Centres (ROC) which coordinate the activity of grid sites (a Grid site (GS) is a grid cluster or an access platform) in regions.

Third level: Separate grid sites (institutes) or minimal grid network access platforms which belong, as a rule, to any virtual organization (VO). VO temporarily joins institutes (not necessarily from the same region) of common scientific interests to solve a problem.

This is ensured that due to the large performance of grid infrastructure optimized, its stability and reliability are controlled, and the workload of some of its elements is governed. Basic coordination center of NASU consists of teams which provide such a performance.

As to the **grid technology application** for solving various research problems and tasks UAG has to unify the special virtual organizations which can be both permanent and temporary as well as to enter large international unions and projects.

The principal BCC teams and their functions are as follows.

Research and analytical team is to work out and to confirm the BCC activity, research projects on grid technology application in the different fields, to analyze perspective trends of research in the grid technologies and their realization, to make the expert evaluation of new propositions and projects for development and the grid technology applications.

Team of international contacts. The key task of this team is in the development of cooperation with the international organizations and the grid projects in the international collaboration of the UAG participants. The representatives of Regional Operating Centers (ROCs) and Resource Centers of Virtual Organizations (RCVOs) are getting to draw up a plan of the team.

Maintenance team. The team has to assist to the administrators of computer clusters in an installation of system-wide software and to provide computer security, as well as to maintain the working grid nodes. The team coordinator maintains the permanent contact with corresponding specialists of ROC and RCVO, the system administrators and security administrators of each local grid site.

Software support team is to assist administrators of computer clusters in installation of middleware on new clusters and to support the regular and qualitative link with all grid nodes. Moreover, the team experts are responsible for task analysis of the whole grid system, new middleware installation, and compatibility of application software with middleware as well. The team has to know all the answers to any problems appearing in the grid network of NASU.

User support team. Each ROC and grid site must have a portal which should be allocated to the practical directives teaching how anyone might be involved in the Ukrainian grid activity and how the process of getting a certificate for virtual organization or grid node, or individual user could be realized. Each user can send a test task to be solved and obtain results using web-site. Web-site has to contain the information concerning the structure of national grid, Internet references to the grid activity documentations and web-sites of each grid site of the national grid as well as reference sources on principal facilities of grid technologies, international grid projects and virtual organizations, announcements on the grid seminars and conferences.

Educating and training centre is to organize the educational process on theoretical and practical basis of the grid technology applications. Virtual educational grid is created on the basis of the display classrooms, the existing and future centers should be timely equipped. The individual education programs to ROC and RCVO administrators, system administrators of Grid clusters and users

should be worked out. Development of educational programs, seminars and organization of continual education should be fulfilled by the experts of KNU and KPI.

The structure of Regional Operating Centres is a similar but the centers are empowered by a less number of functions.

Cooperation with Ukrainian Institutes behind NASU

At the very beginning the NASU researchers are working in full cooperation with the Universities and Institutes behind the NASU structure. Today Higher Schools of the Ministry of Education and Sciences have the good possibilities to teach the IT-specialists, some of them possess the considerable computational resources. They can and must make an essential contribution to the Grid technology development in Ukraine and creation of national wide branched Grid infrastructure.

Scientific and technological project "Creation of National Grid Infrastructure for Research Support" is fulfilling today in Ukraine along with grid project of NASU (BITP is a basic organization with 20 participants). This project was approved by the Ministry of Education and Sciences (MES) to be accomplished in 2007-2008 as a part of the State Program "Information and Communication Technologies in Education and Science". The program provides the formation of the national Grid infrastructure, the creation of Certificate Centre, the maintenance of Ukrainian international data center. NTU KPI is a leading organization in this project and 7 universities and institutions of MES are the contracting parties. It should be mentioned that NASU becomes the contracting party as well.

Taking into account that both projects have similar purposes the MES and NASU started to collaborate. BITP and NTU KPI made an agreement to create the Ukrainian Grid Association which, in accordance to the EGI recommendations, was termed as Ukrainian National Grid Initiative (UNGI). The structure of UNGI was strictly outlined and documented, the immediate and advanced plans which should be realized after accepting and approval the State Program were discussed and fixed. The formal procedure of association registration is very close to be completed now.

It should be emphasized that the active work is now underway on the grid technologies application in the medical institutions. The program of collaboration between the NASU and Academy of Medical Sciences of Ukraine and some big medical centers is successfully working. The NASU is ready to aid and to grant the computational resources for using the gggrid technologies in medical practice in the framework of pilot projects.

International cooperation of UAG

Grid may be considered as a new reinforced instrument for scientific and technological international cooperation. Grid becomes one of the principal factors and locomotives of the globalization process. Science has always an international nature but at the end of previous century because of the fight with the background of economic globalization the proper attention to developing the cooperation principles in the science management was not given in necessary extent. Nevertheless, due to Internet and new scientific projects (for example, Space exploration, the largest colliders in CERN and USA, European project of thermonuclear reactor ITER etc.) the tasks of world science integration have been brought to the fore-

front. New international project called the World Grid could be realized by creating the national and big international grid projects (WLCG, EGEE, GLORIAD, TERAGRID and others). Realizing a stable character of unification tendency and availability of this process in the country the organizers of UAG pay the special efforts to the integration and consolidation of the Ukrainian Grid into the international grid community.

Today the Ukrainian experts are ready to learn the great experience their foreign colleagues, however, they have a lot of achievements as well which could be very practical for the international community of the Grid users. Below we list new trends and activities which as we believe are the quite promising for future cooperation and will provide both sides with a steady progress of the grid technologies.

Ukraine was registered as a non-contracting participant in the EGEE project in 2007. It was planned that the Ukrainian specialists should work out the subject of grid applications (e.g. in high energy physics, astrophysics, life science, earth science) and focus their efforts on education and knowledge propagation of grid and distribution of the grid technologies into medicine and industry.

In May 2007 Ukraine signed Memorandum of Understanding about the participation in EGI. The spectrum of tasks which are of interest for the Ukrainian experts corresponds quite well to the activity which was declared in EGEE.

Starting on April 2006 NASU is a member of the WLCG collaboration. Several academic institutes put their computational resources for common work in WLCG. The researchers of BITP and KIPT accomplish the theoretical and phenomenological tasks together with the technical preparations for the future work in the LHC experiments.

The researchers of the Institute of Space Researches of NASU and of National Space Agency of Ukraine (NSAU) in cooperation with their Chinese colleagues are fruitfully developing and use the grid technologies in the satellite monitoring of Earth surface and water.

The agreement about the joint investigations and cluster computing with GRAPE-cards in the framework of German AstroGrid-D project has been signed by MAO. In the Institutes of biological investigations the negotiations with colleagues of the Western countries about the common projects within the specific VOs are carrying on.

There are no doubts that the international relations of UAG, its collaboration in the grid projects with experts of many countries will be considerably extended and intensified.

PROBLEMS IN UAG

Creating the UAG basic infrastructure we gained the practical experience both in development of clusters and in management of cooperation between the various NASU institutes in the Grid activity. Now we understand better what should be done to guarantee an appreciable progress of computing constituent not only in NASU but in Ukraine, too.

At the same time we met some problems which limit the grid technology distribution, for example:

1. **Lack of information on new computational technologies in the scientific community.** Institutions of informatics should focus more attention on extending the knowledge about these technologies in all academic sub-divisions.

2. **Shortage of the qualified personnel.** First, it occurs that the local networks (if they are present) and primary output to Internet in the NASU Institutes are mainly maintained by the enthusiasts who are the researchers, but not computer specialists. Secondly, even if there is a qualified system administrator in an Institute (usually a young scientist without scientific degree) his salary is very scanty because of the academic regulations of the labour remuneration.

3. **Scarcity of the IT specialists** which understand properly the principles of grid technologies. The world tendency demonstrates the widespread adoption of grid in various human activities, and so there is an urgent need to train students of the computer science.

4. **Lack of high speed Internet links** in many institutes of NASU (in non-academic institutions, especially in regional ones). With a channel capacity growth the traffic cost rapidly increases and so there are no adequate financing in the Institutes to provide the channel capacity required by grid.

SUMMARY

Despite all difficulties and problems in developing of grid technologies in NASU the background of the widest application of grid technologies in Ukraine has been provided. There is a good reason to believe that grid exists and operates in Ukraine, the collaboration with international grid community is intensified and Ukrainian National Grid will be built with joint efforts and occupy a fitting place in the world grid infrastructure.

REFERENCES

1. *Foster I., Kesselman C.* The Grid: Blueprint for a New Computing Infrastructure. Morgan Kaufmann Publishers. ISBN 1-55860-475-8.
2. http://www.insight-corp.com/pr/06_22_06.asp.
3. <http://aliceinfo.cern.ch/Public/Welcome.html>.
4. <http://pcalimonitor.cern.ch/map.jsp>.
5. <http://lcg.web.cern.ch/LCG/>.
6. <http://www.eu-egee.org/>.
7. <http://web.eu-egi.eu/>.
8. *Huedo E., Montero R.S., Llorente I.M.* A modular meta-scheduling architecture for interfacing with pre-WS and WS Grid resource management services. *Future Generation Computing Systems*. — 23 (2): 252–261, 2007.
9. *Alkin A., Karpenko D., Svistunov S.* Research of possibility of use of meta scheduler GridWay in grid-infrastructure NAS of Ukraine under control of NorduGrid, «Distributed Computing and Grid-Technologies in Science and Education: Proceedings of the 3rd International Conference (Dubna, June 30-July 4, 2008). — Dubna: JINR, 2008. — ISBN -978-5-9530-0198-4. — P. 298–302.
10. *Karpenko D.* Interoperability and Interoperation of Grid-Infrastructures. (Proceeding of the CODATA-08 International Conference, Kiev, October, 2008).

Received 12.03.2009

From the Editorial Board: the article corresponds completely to submitted manuscript.

ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКІВ ДЕФОЛТУ ТА РЕАЛЬНИХ ОПЦІОНІВ

М.С. ГОНЧАР, Л.С. ТЕРЕНТ'ЄВА

Запропоновано новий метод оцінювання ризиків дефолту та реальних опціонів, який полягає в тому, що інвестор як джерело фінансування за наявності певної інформації про роботу фірми оцінює можливість її дефолту.

ВСТУП

Проблема оцінювання ризиків дефолту фірми є актуальною для будь-якого інвестора. Важливим є питання побудови адекватної реальності математичної моделі еволюції ринкової вартості фірми, яка б не давала міжчасових арбітражних можливостей, тобто можливостей набути додатного капіталу, починаючи з нульового.

Перша модель еволюції вартості ризикових активів була запропонована Л. Башельє у 1900р. Її очевидним недоліком є можливість ціни ризикового активу набувати від'ємних значень. Потім П. Самуельсон запропонував модель еволюції вартості ризикового активу, яку названо геометричним броунівським рухом

$$S_t = S_0 \exp \left\{ \left(\mu - \frac{\sigma^2}{2} \right) t + \sigma W_t \right\},$$

де μ — коефіцієнт росту; σ — коефіцієнт мінливості або волатильність; W_t — стандартний процес Вінера. Д. Кокс, Р. Росс і М. Рубінштейн [6] запропонували дискретну модель еволюції ціни ризикового активу та довели теорему про повноту ринку цінних паперів у такій моделі. Модель еволюції ризикового активу Самуельсона є граничним випадком моделі Кокса–Росса–Рубінштейна. Для введених моделей характерна відсутність міжчасових арбітражних можливостей, що важливо для практичних застосувань. Д. Гаррісон і С. Пліска [7] сформулювали теорему про умови відсутності міжчасових арбітражних можливостей.

Всі моделі еволюції вартості ризикових активів мають задовольняти умови відсутності арбітражних можливостей. У згаданих вище моделях процес еволюції ризикового активу породжує єдину ризик-нейтральну ймовірнісну міру, що дозволяє теоретично оцінити можливість фірми збанкрутувати за наявності зовнішнього фінансування. Параметри процесів у цих моделях, оцінені за історичними даними, не гарантують правильної еволюції ризикових активів у майбутньому. Такі процеси еволюції вартості активів є основою найбільш популярних і розвинених концепцій оцінювання ризиків дефолту (наприклад, Р. Мертона [1], Т. Білецького і М. Рутковського [2]). В них також не враховано роль інвестора як джерела фінансування та можливі стратегії розвитку фірми.

Ця робота започатковує нову концепцію опису еволюції вартості фірми, у якій не використовуються історичні дані і враховується факт можливої оцінки кредитором стабільності роботи фірми через поняття внутрішньої доходності та (оцінювані кредитором) фінансові потоки від майбутньої діяльності фірми. Концепція спирається на розроблену М.С. Гончаром [3] теорію певного класу випадкових процесів. Зasadничою позицією створюваного методу оцінювання ризиків дефолту є ефективність еволюції вартості фірми, що полягає у відсутності міжчасового арбітражу. На описаний нижче клас випадкових процесів для еволюції вартості фірми накладено умови, за яких вартість фірми еволюціонує ефективно [3, с.746].

Означення 1. Нехай A_0, \dots, A_N — фінансові надходження від діяльності фірми, які відбуваються через певні рівні проміжки часу τ (наприклад, місяці або роки), який ми вибираємо за одиницю вимірювання часу; $A_i \geq 0$, $i = \overline{0, N}$, N — кількість періодів τ . Якщо r — ставка відсотку на депозит за неперервного нарахування відсотків, яка відповідає періоду τ , то під внутрішньою доходністю фірми в момент часу t розуміємо невід'ємний випадковий процес $x_t(\omega)$ такий, що з ймовірністю 1 справедлива рівність

$$e^{-rt} V_t(\omega) = \sum_{i=0}^N \frac{A_i}{[1 + x(t)]^i}, \quad (1)$$

де $V_t(\omega)$ — ринкова вартість фірми в момент часу t . З (1) випливає, що для моделювання ринкової вартості фірми достатньо задати випадковий процес внутрішньої доходності $x(t)$.

Будемо вважати, що оцінку внутрішньої доходності фірми здійснює інвестор, який оцінює її кредитоспроможність, тобто спроможність повернути кредит у майбутньому.

Означення 2. Нехай еволюція внутрішньої доходності фірми задана на деякому ймовірнісному просторі $\{\Omega, \mathcal{F}, P\}$. Інформація інвестора про внутрішню доходність фірми є повною у випадку, коли процес, який описує еволюцію внутрішньої доходності, такий, що відповідна йому еволюція вартості фірми ефективна.

Повнота інформації про внутрішню доходність фірми дає можливість оцінювати ризики та реальні опціони відносно ризик-нейтрального середовища.

Концептуально реальний опціон є тактичним або стратегічним рішенням, яке може бути прийнято в певний час у майбутньому відповідно до ринкових змін. Базовими активами за реальними опціонами є реальні активи: заводи, машини, виробничі інвестиції і т.ін. Трудність оцінювання реальних опціонів та ризиків дефолту полягає в тому, що еволюція базових активів невідома на відміну від фінансових опціонів. Оцінка реального опціону є оцінкою реальних можливостей фірми, а отже, може бути здійснена за наявності інформації про такі можливості, наприклад, про введення у майбутньому додаткових потужностей (скасування збиткового виробництва). У моделі, яка створюється в даній роботі, можливі надходження від задіяння певних активів у майбутньому безпосередньо описуються коефіцієнтами A_i . Отже, маючи інформацію про основні параметри роботи фірми, оцінювання

конкретного реального опціону дозволяє максимально убезпечити інвестора від втрати капіталу.

МОДЕЛЮВАННЯ ЕВОЛЮЦІЇ ВНУТРІШНЬОЇ ДОХОДНОСТІ

Внутрішня доходність є основним критерієм оцінки інвестором ризикованості роботи фірми. Виходячи з того, що збільшення часового горизонту призводить до збільшення невизначеності, природньо припускати, що $x_t(\omega)$ — зростаючий процес обмеженої варіації. Нижче будемо ймовірнісний простір, в якому відбувається випадкова еволюція x_t таким чином, що інформація інвестора про внутрішню доходність фірми є повною.

Побудова ймовірнісного простору для еволюції внутрішньої доходності ґрунтується на припущенні, що проміжок часу $[a, b)$, на якому спостерігається еволюція ціни фірми, можна розбити на деякі проміжки $[a_i^\alpha, a_{i+1}^\alpha)$, $i = \overline{1, k(\alpha)}$, монотонно зростаючою послідовністю точок $\{a_i^\alpha\}_{i=1}^{k(\alpha)+1}$, яка не

має точок згущення ($\bigcup_{i=1}^{k(\alpha)} [a_i^\alpha, a_{i+1}^\alpha) = [a, b)$) так, що у кожному із проміжків з ймовірністю 1 відбувається зміна внутрішньої доходності. Такому розбиттю приписується сім'я функцій розподілу, які і є ймовірнісними характеристиками вартості фірми.

Розглянемо детальніше підхід до побудови процесу, що описує еволюцію внутрішньої доходності. Вважаємо цікавим для інвестора проміжок часу функціонування фірми, в якому можливі зміни у структурі виробництва, і складається він з N періодів (наприклад, місяців або років). Припускаємо, що зміни внутрішньої доходності фірми відбуваються у кожному періоді, а отже, наше розбиття має вигляд $[i, i+1)$, $i = \overline{0, N-1}$.

Якщо вартість фірми на проміжку часу $[i, i+1)$ може набувати значень у множині $[0, c_i)$, $c_i < \infty$, то умовна функція розподілу $F_{[i, i+1)}^0(p_i | \{p\}_{i-1})$ — ймовірність того, що вартість фірми не перевищуватиме $p_i \in [0, c_i)$ за умови, що в проміжках часу $[k, k+1)$, $k = \overline{0, i-1}$, вона була рівною $p_k \in [0, c_k)$, де введено позначення $\{p\}_{i-1} = \{p_0, \dots, p_{i-1}\}$. Пов'язуємо можливі реалізації вартості фірми з проміжком часу, в якому ці реалізації відбуваються. Покладемо $p_k = c_k(\omega_k - k) = \tau_k(\omega_k)$, $k = \overline{0, i}$, $\omega_k \in [k, k+1)$, $k = \overline{0, N-1}$, та введемо ототожнення

$$F_i(\omega_i | \{\omega\}_{i-1}) = F_{[i, i+1)}^0(p_i | \{p\}_{i-1}) \Big|_{p_k = \tau_k(\omega_k), k = \overline{0, i}}$$

Кожний можливий набір функцій розподілу називатимемо сценарієм реалізації вартості фірми.

Ймовірнісний простір, в якому відбувається випадкова еволюція x_t , будемо таким чином.

Для розбиття $[i, i+1)$, $i = \overline{0, N-1}$ розглянемо сім'ю просторів елементарних подій $\Omega_i = [0, N)$, $i = \overline{0, N-1}$.

На кожному просторі Ω_i задамо σ -алгебру подій F_i^0 — множину підмножин множини $\Omega_i = [0, N)$, яка породжується інтервалами $(c, d) \subset [i, i+1)$. Потік σ -алгебр $F_i^{0,t}$, $t \in [0, N)$, $F_i^{0,t} \subseteq F_i^0$, запишемо

$$F_i^{0,t} = \begin{cases} \{\emptyset, [0, N)\}, & 0 \leq t \leq i, \\ B([i, t]), & i < t < i+1, \\ \bigcup_{t \in [i, i+1)} B([i, t]) = F_i^0, & i+1 \leq t \leq N, \end{cases}$$

де $B([i, t])$ — σ -алгебра підмножин множини $[0, N)$, які породжені підмножинами $(c, d) \subset [i, t]$, а $\bigcup_{t \in [i, i+1)} B([i, t])$ — мінімальна σ -алгебра, що містить

об'єднання σ -алгебр $B([i, t])$; $\{\Omega, F^0\}$ — прямиий добуток вимірних просторів $\{\Omega_i, F_i^0\}$, $i = \overline{0, N-1}$; $F_i^0 = \prod_{i=0}^{N-1} F_i^{0,t}$ — потік σ -алгебр на $\{\Omega, F^0\}$.

На кожному вимірному просторі $\{\Omega_i, F_i^0\}$ визначаємо сім'ю умовних функцій розподілу $F_i^0\{\omega_i | \{\omega\}_{i-1}\}$, яка за кожного фіксованого $\{\omega\}_{i-1} \in \Omega^{i-1} = \prod_{s=0}^{i-1} \Omega_s$ є неперервною справа неспадною функцією змінної $\omega_i \in [0, N)$.

$$F_i(\omega_i | \{\omega\}_{i-1}) = \begin{cases} 0, & 0 \leq \omega_i \leq i, \\ \phi_i(\omega_i | \{\omega\}_{i-1}), & i < \omega_i < i+1, \quad \{\omega\}_{i-1} \in \Omega^{i-1}, \\ 1, & i+1 \leq \omega_i < N, \end{cases}$$

де $\{\omega\}_{i-1} = \{\omega_0, \dots, \omega_{i-1}\}$.

Функція $\phi_i(\omega_i | \{\omega\}_{i-1})$ задовольняє умови $0 \leq \phi_i < 1$, $\phi_i(i | \{\omega\}_{i-1}) = 0$, $i = \overline{0, N-1}$ і є неперервною справа неспадною функцією змінної ω_i на $[i, i+1)$ за кожного фіксованого $\{\omega\}_{i-1} \in \Omega^{i-1}$ та вимірною з вимірного простору $\{\Omega^{i-1}, \overline{F}_{i-1}^0\}$ у вимірний простір $\{[0, 1], B([0, 1])\}$ за кожного фіксованого ω_i , де $\overline{F}_{i-1}^0 = \prod_{s=1}^{i-1} F_s^0$.

Нехай $F_i(d\omega_i | \{\omega\}_{i-1})$ — міра, побудована за функцією розподілу $F_i(\omega_i | \{\omega\}_{i-1})$ на σ -алгебрі F_i^0 за кожного фіксованого $\{\omega\}_{i-1} \in \Omega^{i-1}$. $F_i(d\omega_i | \{\omega\}_{i-1})$ зосереджена на підмножині $[i, i+1) \subset \Omega_i$.

Задамо міру на вимірному просторі $\{\Omega, F^0\}$, визначивши її на множинах виду $A_0 \times \dots \times A_{N-1}$, $A_i \in F_i^0$, формулою

$$P(A_0 \times \dots \times A_{N-1}) = \int_{A_0} \dots \int_{A_{N-1}} F_0(d\omega_0) F_1(d\omega_1 | \{\omega\}_0) \times \dots \times F_{N-1}(d\omega_{N-1} | \{\omega\}_{N-2}).$$

Так означена функція множин може бути продовжена до деякої міри P на F^0 завдяки теоремі Іонеску–Тулча [4].

Отже, розглядатимемо ймовірнісний простір $\{\Omega, F^0, P\}$ і потік σ -алгебр $F_t^0 \subseteq F^0$ на ньому, ймовірнісний простір $\{\Omega, F, P\}$ і потік σ -алгебр $F_t \subseteq F$, де F і F_t — поповнення відповідно F^0 і F_t^0 множинами нульової міри відносно міри P .

ЗАДАЧА ОЦІНЮВАННЯ РИЗИКУ ДЕФОЛТУ

Спираючись на теорію, розроблену М.С. Гончаром [3], розглянемо широкий клас випадкових процесів, що описують еволюцію внутрішньої доходності фірми, і таких, в яких інформація інвестора про внутрішню доходність є повною.

Дефолт — це неможливість боржника сплатити за зобов'язаннями. Така ситуація виникає, коли вартість фірми падає нижче деякого рівня, який визначається типом та обсягами зовнішнього фінансування. Оцінку ризику дефолту фірми будуватимемо, використовуючи підхід Мертона. В рамках цього підходу вважаємо, що дефолт може відбутися лише у момент погашення боргового зобов'язання T . Нижче будемо оцінку дефолту у ризик-нейтральному середовищі. Ця величина є усередненням за ризик-нейтральною мірою функції ризику, тобто відхиленням вартості фірми від боргового зобов'язання.

Для оцінки ризику дефолту використовуємо функцію ризику $\alpha(x)$, запропоновану Р. Мертоном.

$$\alpha(x) = \min(x, U_0) = U_0 - (U_0 - x)^+, \quad (2)$$

де U_0 — зовнішнє інвестування; $y^+ = \max(y, 0) \quad \forall y \in R$.

За даної концепції реальний опціон можемо розглядати як угоду, у відповідності з якою у разі задіяння додаткових можливостей власник опціону дістане частину доходів від діяльності фірми. Це буде тоді, коли вартість фірми підніметься вище деякого значення U_0 . Платіжна функція такого реального опціону є частиною вартості фірми і має вигляд

$$f(x) = f(x - U_0),$$

де $f(0) = 0, f(x) \leq 1 \quad \forall x \geq 0$.

Основним об'єктом нашого дослідження є ринкова вартість фірми, яка в момент часу t задається формулою

$$V_t = e^{rt} \sum_{n=0}^N \frac{A_n}{[1 + x(t)]^n}, \quad (3)$$

де $A_n, n = \overline{0, N}$ — фінансовий потік від діяльності фірми; x_t — внутрішня доходність фірми, представлена випадковим процесом на $\{\Omega, F, P\}$, що є узгодженим з потоком F_t^0 локальним несингулярним мартингалом

$$x_t = \sum_{i=0}^{N-1} \chi_{[i,i+1)}(t) x_t^i(\omega_i),$$

$$x_t^i(\omega_i) = g_i(\{\omega\}_i) \chi_{[i,t)}(\omega_i) + \psi_i(\{\omega\}_{i-1}, t) \chi_{(t,i+1)}(\omega_i),$$

$$\psi_i(\{\omega\}_{i-1}, t) = \frac{1}{1 - F_i(t | \{\omega\}_{i-1})} \int_{(t,i+1)} g_i(\{\omega\}_i) F_i(d\omega_i | \{\omega\}_{i-1}),$$

де $g_i(\{\omega\}_i)$ — вимірне відображення $\{\Omega^i, \mathbf{F}_i^0\} \rightarrow \{R^1, B(R^1)\}$; $\psi_i(\{\omega\}_{i-1}, t)$ — вимірне відображення $\{\Omega^{i-1}, \mathbf{F}_{i-1}^0\} \rightarrow \{R^1, B(R^1)\}$ за кожного фіксованого $t \in [i, i+1)$, $i = \overline{1, N-1}$.

Також вважаємо, що випадковий процес x_t , який описує еволюцію внутрішньої доходності фірми, належить класу K^0 [3, с. 708].

Еволюція неризикового активу задається формулою

$$B(t) = B_0 e^{rt}, \tag{4}$$

де $0 < r < 1$; B_0 — початковий вклад на банківський рахунок. Нехай діяльність фірми фінансується ззовні до моменту часу $T > 0$, $T \in [l, l+1)$, $l \leq N-1$ шляхом випуску в момент часу $t=0$ боргового зобов'язання — облігації з нульовим купоном номіналом вартістю $U_0 > 0$ ($V_0 > U_0 e^{-rT}$). Функція ризику (2) матиме вигляд

$$\alpha(V_T) = U_0 - \left(U_0 - e^{rT} \sum_{i=0}^{N-1} \chi_{[i,i+1)}(T) \sum_{n=0}^N \frac{A_n}{(1 + x_T^i(\{\omega\}_i))^n} \right)^+. \tag{5}$$

ФОРМУЛА ОЦІНКИ РИЗИКУ ДЕФОЛТУ

Зважаючи на специфіку процесу, що описує внутрішню доходність, для оцінювання дефолту та побудови геджувального динамічного портфелю скористаємося результатами роботи [3, гл.12], зокрема теоремами 12.6.1 та 12.6.2.

Теорема. Припустимо, що

$$x_t = \sum_{i=0}^{N-1} \chi_{[i,i+1)}(t) x_t^i(\omega_i),$$

$$x_t^i(\omega_i) = g_i(\{\omega\}_i) \chi_{[i,t)}(\omega_i) + \frac{1}{1 - F_i(t | \{\omega\}_{i-1})} \int_{(t,i+1)} g_i(\{\omega\}_i) F_i(d\omega_i | \{\omega\}_{i-1})$$

— локальний несингулярний мартингал на $\{\Omega, \mathbf{F}, P\}$, який задовольняє умови

$$0 \leq x_t \leq M, \quad 0 < M < \infty,$$

$$g_i(\{\omega\}_i) \geq 0, \quad \{\omega\}_i \in \Omega^i, \quad i = \overline{0, N-1},$$

$$\int_{[i,i+1)} \left| \rho_i^0(s | \{\omega\}_{i-1}) \right| \frac{F_i(ds | \{\omega\}_{i-1})}{1 - F_i(s_- | \{\omega\}_{i-1})} < \infty,$$

де

$$\rho_i^0(s | \{\omega\}_{i-1}) = g_i(\{\omega\}_{i-1}, s) - \frac{1}{1 - F_i(s | \{\omega\}_{i-1})} \int_{(s,i+1)} g_i(\{\omega\}_i) F_i(d\omega_i | \{\omega\}_{i-1}).$$

Для випадкового процесу

$$V_t = \sum_{i=1}^{N-1} \chi_{[i,i+1)}(t) f(x_t^i(\{\omega\}_i)), \quad (6)$$

що описує еволюцію вартості фірми, де функція $f(x) \geq 0$, $0 \leq x \leq M$ є строго монотонною і така, що

$$\sup_{0 \leq x \leq M} |f'(x)| = f_1 < \infty, \quad \inf_{0 \leq x \leq M} |f'(x)| = f_2 > 0,$$

$$\sup_i \sup_{\{\omega\}_{i-1} \in \Omega^{i-1}} \sup_{s \in [i,i+1)} \frac{\Delta F_i(s | \{\omega\}_{i-1})}{1 - F_i(s_- | \{\omega\}_{i-1})} < \frac{f_2}{f_1},$$

$$\int_{[i,i+1)} f(g_i(\{\omega\}_{i-1}, t)) \exp\{-\gamma^i(\{\omega\}_{i-1}, t_-)\} \gamma^i(\{\omega\}_{i-1}, dt) < \infty,$$

$$\{\omega\}_{i-1} \in \Omega^{i-1}, \quad i = \overline{0, N-1},$$

$$\gamma^i(\{\omega\}_{i-1}, t) = \int_{[i,t]} \frac{f'(T_i(\tau | \{\omega\}_{i-1})) F_i(d\tau | \{\omega\}_{i-1})}{U_i(\{\omega\}_{i-1}, \tau) [1 - F_i(\tau_- | \{\omega\}_{i-1})]},$$

$$U_i(\{\omega\}_{i-1}, \tau) = \int_0^1 f'(g_i(\{\omega\}_{i-1}, \tau) + z[T_i(\tau | \{\omega\}_{i-1}) - g_i(\{\omega\}_{i-1}, \tau)]) dz,$$

$$T_i(t | \{\omega\}_{i-1}) = \frac{1}{1 - F_i(t | \{\omega\}_{i-1})} \int_{(t,i+1)} g_i(\{\omega\}_i) F_i(d\omega_i | \{\omega\}_{i-1}),$$

існує мартингальна міра P_1 на $\{\Omega, \mathcal{F}^0\}$, породжена сім'єю функцій розподілу $F_i^1(\omega_i | \{\omega\}_{i-1})$, $i = \overline{0, N-1}$, і модифікація \overline{V}_t процесу V_t така, що \overline{V}_t — локальний несингулярний мартингал на ймовірнісному просторі $\{\Omega, \mathcal{F}_1, P_1\}$ відносно потоку σ -алгебр \mathcal{F}_t^1 , де σ -алгебри \mathcal{F}_1 і \mathcal{F}_t^1 — поповнення σ -алгебр відповідно \mathcal{F}_0 і \mathcal{F}_t^0 відносно міри P_1 .

Далі, нехай $N(\{\omega\}_{N-1})$ — невід'ємна випадкова величина на $\{\Omega, \mathcal{F}, P\}$, яка задовольняє такі умови:

- 1) $N_i(\{\omega\}_i) < \infty$, $\{\omega\}_i \in \Omega^i$, $i = \overline{0, N-1}$;
- 2) справедливі нерівності

$$\int_{[i,i+1)} |\zeta_i(s | \{\omega\}_{i-1})| \frac{F_i^1(ds | \{\omega\}_{i-1})}{1 - F_i^1(s_- | \{\omega\}_{i-1})} < \infty,$$

$$\{\omega\}_{i-1} \in \Omega^{i-1}, \quad i = \overline{0, N-1},$$

$$\zeta_i(s | \{\omega\}_{i-1}) = N_i(\{\omega\}_{i-1}, s) - \frac{1}{1 - F_i^1(s | \{\omega\}_{i-1})} \int_{(s, i+1)} N_i(\{\omega\}_i) F_i^1(d\omega_i | \{\omega\}_{i-1}),$$

$$N_i(\{\omega\}_i) = \int_{\Omega_{i+1}} \dots \int_{\Omega_{N-1}} \alpha(V_T(\{\omega\}_i, \{\omega\}_{[i+1, N-1]})) F_{i+1}^1(d\omega_{i+1} | \{\omega\}_i) \times \dots \\ \dots \times F_{N-1}^1(d\omega_{N-1} | \{\omega\}_{N-2}).$$

За цих умов для регулярного мартингала $E^1\{N(\{\omega\}_{N-1}) | \mathbf{F}_t^1\}$ на ймовірнісному просторі $\{\Omega, \mathbf{F}_1, P_1\}$ справедливе подання

$$E^1\{N(\{\omega\}_{N-1}) | \mathbf{F}_t^1\} = E^1 N(\{\omega\}_{N-1}) + \int_{[0, t]} \xi(s | \omega) d\bar{V}_s, \quad t \in [0, N), \quad (7)$$

де

$$\xi(s | \omega) = \sum_{i=1}^{N-1} \chi_{[i, i+1)}(s) \frac{\zeta_i(s | \{\omega\}_{i-1})}{\zeta_i^0(s | \{\omega\}_{i-1})}, \\ \zeta_i^0(s | \{\omega\}_{i-1}) = f(g_i(\{\omega\}_{i-1}, s)) - \\ - \frac{1}{1 - F_i^1(s | \{\omega\}_{i-1})} \int_{(s, i+1)} f(g_i(\{\omega\}_i)) F_i^1(d\omega_i | \{\omega\}_{i-1}).$$

Доведення. Теорема є модифікацією теореми 12.6.1 [3, с.728] на випадок, коли несингулярний мартингал x_t є рівномірно обмеженим з ймовірністю 1 за реалізації з ймовірністю 1 сценарію, що визначається розбиттям $[i, i+1)$, $i = \overline{0, N-1}$, і побудованим вище відносно такого розбиття повним ймовірнісним простором $\{\Omega, \mathbf{F}, P\}$. Тоді за виконання умов теореми існує мартингальна міра P_1 на $\{\Omega, \mathbf{F}^0\}$, породжена сім'єю функцій розподілу $F_i^1(\omega_i | \{\omega\}_{i-1})$, $i = \overline{0, N-1}$, і модифікація \bar{V}_t процесу V_t така, що є локальним несингулярним мартингалом на ймовірнісному просторі $\{\Omega, \mathbf{F}_1, P_1\}$ відносно потоку σ -алгебр \mathbf{F}_t^1 , де σ -алгебри \mathbf{F}_1 і \mathbf{F}_t^1 — поповнення σ -алгебр відповідно \mathbf{F}_0 і \mathbf{F}_t^0 відносно міри P_1 . Якщо невід'ємна випадкова величина $N(\{\omega\}_{N-1})$ на $\{\Omega, \mathbf{F}, P\}$ задовольняє умови теореми, то для регулярного мартингала $E^1\{N(\{\omega\}_{N-1}) | \mathbf{F}_t^1\}$ на $\{\Omega, \mathbf{F}_1, P_1\}$ справедливий розклад (7). Відмінність теореми від 12.6.1 [3, с.728] лише в тому, що ми розглядаємо вужчий клас рівномірно обмежених процесів x_t , для яких аналогічні умови теореми 12.6.1 виконуються. Таким чином, доведення теореми є аналогічним доведенню теореми 12.6.1 [3, с.728].

Для випадкового процесу V_t , який описує еволюцію вартості фірми,

$$\text{функція } f(x) = \sum_{n=0}^N \frac{e^{rt} A_n}{(1+x)^n} \text{ задовольняє умови теореми.}$$

Таким чином, на $\{\Omega, \mathcal{F}^0\}$ можна побудувати ризик-нейтральну міру P_1 і модифікацію \overline{V}_t , що є локальним несингулярним мартингалом на $\{\Omega, \mathcal{F}_1, P_1\}$.

Функція ризику $\alpha(x)$, яка задається формулою (5), задовольняє умови теореми 12.6.2 [3, с.752], еволюція вартості фірми описується формулою (6), еволюція ціни неризикового активу — формулою (4), а тому оцінкою дефолту у відповідності до підходу Мертона є величина

$$X_0^* = e^{-rT} E^1 \alpha(V_T).$$

Динамічний портфель для повернення боргу в обсязі U_0 задається формулою

$$X_t^* = e^{r(t-T)} E^1 \left\{ \alpha(V_T) \mid \mathcal{F}_t^1 \right\}.$$

ВИСНОВКИ

У роботі закладено основи нового методу оцінки ризиків дефолту та реальних опціонів. На перший план виноситься роль інвестора як джерела фінансування. Інвестор за наявності певної інформації про стабільність фірми та можливість уведення в дію додаткових потужностей у майбутньому оцінює можливість дефолту фірми. Побудовано ймовірнісний простір та описано широкий клас процесів для еволюції внутрішньої доходності фірми таких, що інформація інвестора про внутрішню доходність є повною. Знайдено оцінку дефолту фірми, що фінансується ззовні до деякого часу T шляхом випуску в нульовий момент часу облігації з нульовим купоном. Оцінку зроблено з використанням підходу Мертона за припущення, що дефолт може відбутися лише у термінальний момент часу T . Також побудовано геджувальний динамічний портфель у ризик-нейтральному середовищі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Merton R. Theory of rational option pricing // Bell Journal of Economics and management Science. — 1973. — 4. — P. 141–183.
2. Bielecki T., Rutkowski M. Credit Risk: Modeling, Valuation and Hedging. — Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2002. — 500 p.
3. Гончар М.С. Фондовий ринок і економічний ріст. — Київ: Обереги, 2001. — 826 с.
4. Халмош П. Теория меры. — М.: Изд. иностр. лит., 1953. — 350 с.
5. Guo X. Information and option pricings // Quantative finance. — Springer, 2001. — 1. — P. 12–15.
6. Cox J., Ross R.A., Rubinstein M. Option pricing: a simplified approach // Journal of Financial Economics. — 1976 — 7. — P. 229–263.
7. Harrison J.M., Pliska S.R. Martingales, stochastic integrals and continuous trading // Stoch. Processes and Appl. — 1981. — 11, № 3. — P. 215–260.

Надійшла 10.10.2007

МОДЕЛИРОВАНИЕ GRID-УЗЛА НА ОСНОВЕ СЕТЕЙ ПЕТРИ

А.Ю. ШЕЛЕСТОВ

Исследуется узел Grid-системы с применением аппарата сетей Петри. Построена модель работы узла и рассмотрены ее структурные свойства. Показано, что полученная сеть является ограниченной, живой и не содержит недостижимых позиций. Проведен анализ выполнимости свойств взаимного исключения и равноправия.

ВВЕДЕНИЕ

Бурное развитие вычислительной техники и систем телекоммуникаций, сопровождаемое усложнением инфраструктуры распределенных информационно-аналитических систем, привело к необходимости развития средств и методов их моделирования. Одной из наиболее активно развиваемых технологий создания распределенных систем является Grid-технология, направленная на обеспечение работы виртуальных организаций, решающих вычислительно сложные задачи с использованием распределенных хранилищ данных и мощных вычислительных ресурсов [1].

Для моделирования подобных систем используются различные подходы, ни один из которых не может претендовать на исчерпывающее описание, а представляет лишь один из аспектов функционирования или структуры системы. Достаточно полный обзор существующих моделей разного уровня абстракции содержится в [1–3]. В данной работе для моделирования динамики таких систем предлагается использовать математический аппарат сетей Петри [4], поскольку Grid-система представляет собой набор взаимодействующих между собой компонентов (вычислительных узлов и хранилищ данных), которые могут функционировать параллельно и в работе которых должна быть обеспечена синхронизация.

Большое значение такие модели приобретают при исследовании Grid-систем наблюдения Земли, поскольку в этих системах особое внимание уделяется синхронизации доступа к общим сегментам данных и распараллеливанию вычислений.

ПРЕДМЕТНАЯ ОБЛАСТЬ И ФОРМУЛИРОВКА ТРЕБОВАНИЙ К МОДЕЛИ

Распределенные системы обработки данных наблюдения Земли имеют свои особенности. В частности, для таких систем характерно использование как распределенных вычислительных, так и информационных ресурсов (совместно используемых баз данных или хранилищ). Как правило, прикладные задачи, решаемые в системах обработки спутниковых данных (в том числе Grid-системах), предполагают обмен данными большого объема, использование информации из различных географически удаленных друг от друга источников, синхронизацию потоков выполнения задач и доступ к общим

хранилищам. Именно поэтому Grid-инфраструктуры, связанные с обработкой данных наблюдения Земли, выделяют в отдельный класс Grid-систем, исследованию которых посвящен проект DEGREE [5] в рамках программы EGEE. Подобные системы содержат следующие функциональные компоненты.

1. Метапланировщики (управляющие узлы) уровня всей системы в целом или ее отдельной, архитектурно значимой, части, которые обеспечивают передачу заданий (т.е. исполняемого программного кода и данных) на требуемый вычислительный ресурс (в терминах пакета gLite [6] — Computational Element, или вычислительный элемент) или ресурс хранения (Storage Element). В состав метапланировщика входят алгоритмы планирования выполнения задач, которые могут отличаться для разных систем.

Примеры метапланировщиков: GridWay [7] или WMS (gLite сегодня не находит широкого применения в исследовании Земли из космоса), GrAS [8]. Однако наиболее востребован GridWay, включенный в состав последних версий Globus Toolkit [9] и активно применяемый в гетерогенных системах.

Метапланировщики являются надстройкой над базовой Grid-инфраструктурой (работающей под управлением программного обеспечения промежуточного уровня) и взаимодействуют не с конкретными аппаратными ресурсами, а с представляющими эти ресурсы Grid-сервисами. Для выполнения своих функций метапланировщики используют данные, предоставляемые информационными сервисами Grid-инфраструктуры, что позволяет им учитывать общее состояние системы при принятии решений о распределении задач между Grid-ресурсами. Для отправки задач на конкретные ресурсы системы используются интерфейсы, предоставляемые сервисами выполнения задач.

2. Локальные планировщики, например, Torque [10], PBS Pro [11], Sun Grid Engine [12], LSF [13], которые обеспечивают управление выполнением задач на локальном ресурсе и взаимодействуют с метапланировщиком.

3. Распределенные вычислительные узлы и ресурсы хранения данных. Доступ к ним и их использование должны быть синхронизированы, а на узлах с этими ресурсами установлены также Grid-сервисы программной инфраструктуры (MDS, GRAM, GridFTP, RFT и т.д.), которые могут предоставлять на верхний уровень информацию о состоянии данного ресурса и тем самым позволять реализацию эффективного планирования выполнения задач.

Таким образом, выполнение задачи в Grid-среде является трехуровневым иерархическим процессом, на верхнем уровне которого находится метапланировщик, на среднем — локальные планировщики, а на нижнем — физические вычислительные ресурсы. В частности, такая иерархия поддерживается в системах на основе метапланировщика GridWay платформы Globus Toolkit или брокера ресурсов Resource Broker платформы gLite. Задачи пользователей поступают в очередь метапланировщика заданий. Этот компонент, используя информацию от информационных сервисов Grid-системы и отдавая команды сервисам передачи данных и управления задачами, распределяет задачи по ресурсам Grid-системы, реализуя некоторый алгоритм планирования с учетом статистики, предоставляемой информационным сервисом MDS.

Все перечисленные выше компоненты и взаимосвязи между ними показаны на рис. 1.

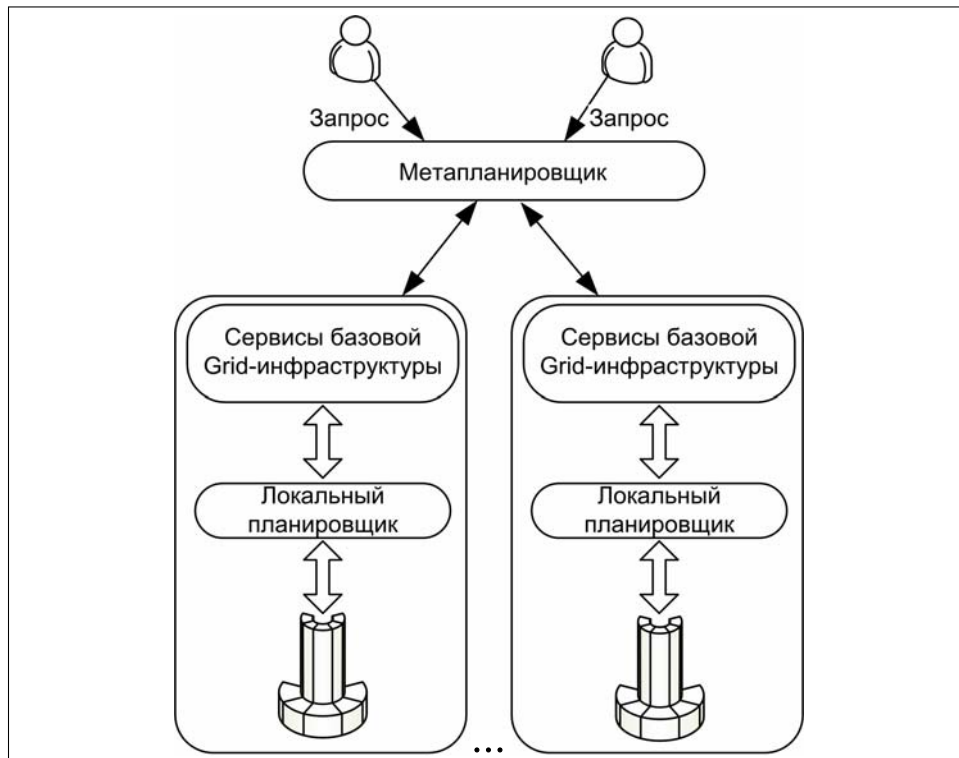


Рис. 1. Роль метапланировщика в Grid-инфраструктуре

Поскольку задачи обработки данных наблюдения Земли характеризуются высокой вычислительной сложностью и большим объемом используемых данных, то очень важно обеспечить синхронизацию как отдельных потоков выполнения, так и доступа к общим ресурсам, в частности хранилищам данных.

В данной статье исследуется синхронизация доступа к общей памяти. При этом учитывается то, что в структуре Grid-системы наблюдается фрактальность, т.е. синхронизацию доступа необходимо обеспечивать как на уровне метапланировщика и доступа к общему хранилищу (одному из общих ресурсов системы), так и на уровне локального планировщика и доступа к общей памяти вычислительных элементов.

Ситуация, когда группа задач или потоков выполнения одновременно использует общее сетевое хранилище или общую память, является достаточно распространенной в области обработки спутниковых данных и моделирования окружающей среды. В частности, разовый запуск региональной метеорологической модели WRF для территории Украины требует более 10 Гбайт входных данных.

Как правило, в современных сетевых системах хранения данных в качестве носителей информации используются жесткие диски, одним из основных свойств которых является нелинейное снижение производительности при увеличении числа параллельных запросов. Например, один жесткий диск позволяет выполнять однопоточное линейное чтение со скоростью

около 80 МБ/с, однако при считывании двух линейных потоков скорость каждого из них будет не более 30 МБ/с. С точки зрения суммарного времени выполнения задач предпочтительней последовательное считывание данных. Поэтому актуальна задача оптимизации доступа к общим ресурсам хранилища, в том числе путем блокировки параллельных процессов чтения/записи.

Таким образом, задача состоит в построении Grid-системы, обеспечивающей прозрачную для пользователя обработку его запросов на поиск и обработку данных, в том числе синхронизацию доступа к необходимым данным, обработку этих данных и предоставление пользователю результатов обработки. Такая Grid-система относится к Grid-системам смешанного типа (одновременно вычислительная и информационная [1]), поскольку содержит высокопроизводительные вычислительные узлы и обеспечивает доступ к данным распределенных хранилищ [3].

Синхронизация доступа к данным и их корректная обработка предполагает выполнение некоторых базовых условий.

Взаимное исключение (mutex) — синхронизация событий при обработке данных: два или более вычислительных узла не могут одновременно иметь доступ к общей области данных (общему хранилищу или общей памяти). Здесь и ниже в качестве вычислительного узла будем понимать либо отдельный вычислительный элемент, либо один из процессоров, входящих в его состав.

Равноправие (fairness) — отсутствие дискриминации заданий. Если пользователь сформировал запрос (задание) и отправил его в систему, то обязательно наступит момент, когда это задание начнет выполняться и будет выполнено.

Отсутствие тупиков (deadlock free) — в системе не может возникнуть ситуация взаимной блокировки вычислений или доступа к данным (общим или распределенным).

На рис. 2 показана работа Grid-системы смешанного типа без детализации, где видно, что при отправке запроса пользователя в систему он попадает на управляющий узел (УУ) (планировщик), который выполняет распределение этого задания между ресурсами системы (вычислительными узлами) и определяет местонахождение необходимых данных. На рис. 2 вычислительные узлы и хранилища данных изображены в виде элемента Узел. Этот же УУ обеспечивает синхронизацию при распараллеливании задания между ресурсами или при выполнении операций доступа к общей памяти.

Учитывая высокую стоимость компонентов Grid-систем, прежде чем приступать к построению системы с указанными свойствами, необходимо построить ее модель и исследовать свойства этой модели.

Построим модель функционирования вычислительного узла, работающего над общей памятью, и исследуем ее свойства. Учитывая специфику работы Grid-системы и необходимость синхронизации доступа к общим сегментам данных при организации параллельных вычислений, в качестве математического аппарата для моделирования воспользуемся аппаратом сетей Петри.

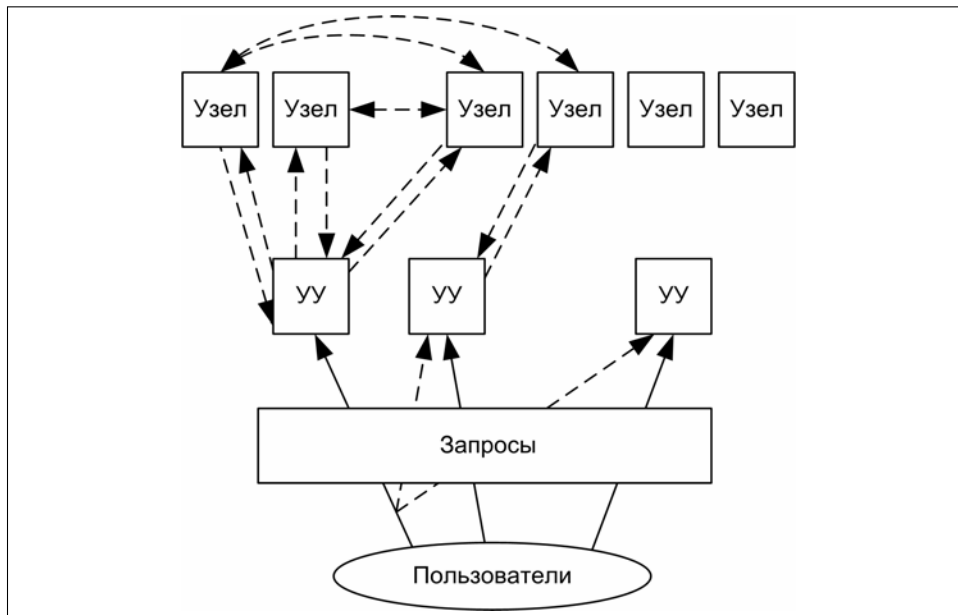


Рис. 2. Модель информационных потоков в Grid-системе

СЕТИ ПЕТРИ. ОСНОВНЫЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Введем основные понятия, связанные с моделированием распределенных систем с разделением ресурсов с помощью сетей Петри.

Определение 1. Сетью Петри (согласно [4]) называется четверка элементов

$$C = (P, T, I, O), \quad (1)$$

где

$$P = \{p_1, p_2, \dots, p_n\}, \quad n > 0 \quad (2)$$

— конечное множество позиций;

$$T = \{t_1, t_2, \dots, t_m\}, \quad m > 0 \quad (3)$$

— конечное множество переходов;

$$I: T > P \quad (4)$$

— функция входов (отображение множества переходов во входные позиции);

$$O: T > P \quad (5)$$

— функция выходов (отображение множества переходов в выходные позиции).

Если $p_i = I(t_j)$, то p_i — входная позиция j -го перехода. Если $p_i = O(t_j)$, то p_i — выходная позиция j -го перехода.

Для наглядного представления сетей Петри используются графы.

Определение 2. Сеть Петри — это двудольный ориентированный мультиграф

$$G = (V, A), \quad (6)$$

где $V = \{u_1, u_2, \dots, u_{m+n}\}$ — множество вершин; $A = \{a_1, a_2, \dots, a_r\}$ — комплект направленных дуг. (Комплектом называется множество, содержащее многократно повторяющиеся элементы [4].) Вершинами графа являются непересекающиеся множества позиций P и переходов T сети Петри.

$$V = P \cup T, \text{ причем } P \cap T = \emptyset.$$

Направленные дуги соединяют связанные между собой позиции и переходы.

Определение 2 обеспечивает наглядное графическое представление сети Петри, на основе которого можно сформулировать еще одно определение сети Петри, которое и будет использоваться в дальнейшем при исследовании свойств сети.

Определение 3. Сетью Петри называется тройка элементов

$$C = (P, T, A), \quad (7)$$

где P и T множества позиций и переходов сети Петри соответственно; A — матрица инцидентности графа сети, связывающая позиции с переходами сети.

Если элемент $A_{ij} = 0$, значит i -я позиция и j -й переход не связаны между собой. Если $A_{ij} = k > 0$, значит в результате запуска j -го перехода в i -й позиции добавляется k фишек. Если $A_{ij} = k < 0$, значит в результате запуска j -го перехода из i -й позиции убирается k фишек.

Разметкой сети Петри μ называется присвоение фишек позициям сети [4].

Определение 4. Разметка μ сети Петри $C = (P, T, I, O)$ есть функция, отображающая множество позиций на множество натуральных чисел.

$$\mu: P \rightarrow N. \quad (8)$$

Разметку можно также определить как вектор

$$\mu = \{\mu_1, \mu_2, \dots, \mu_n\}, \quad (9)$$

где n — мощность множества позиций, а $\mu_i \in N$, $i = 1, \dots, n$. Вектор μ определяет для каждой позиции p_i сети количество фишек в этой позиции.

На графе разметка отображается соответствующим числом точек в каждой позиции. Точки называются маркерами или фишками. Если фишек много (больше трех), то их количество отображается числом.

МОДЕЛЬ РАБОТЫ УЗЛА В ВИДЕ СЕТИ ПЕТРИ

Модель работы вычислительного узла с четырьмя процессорами, обрабатывающего задания пользователя под управлением планировщика (глобального или локального уровня) в соответствии с общей схемой (рис. 2) показана на рис. 3. Эта модель представляет собой одноцветную сеть Петри вида (7), начальное состояние которой описывается разметкой

$$M_0 = (\text{proc}, \text{want}, \text{query}, \text{block}, \text{free}, \text{busy}, \text{wait}, \text{work}) = (4, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0).$$

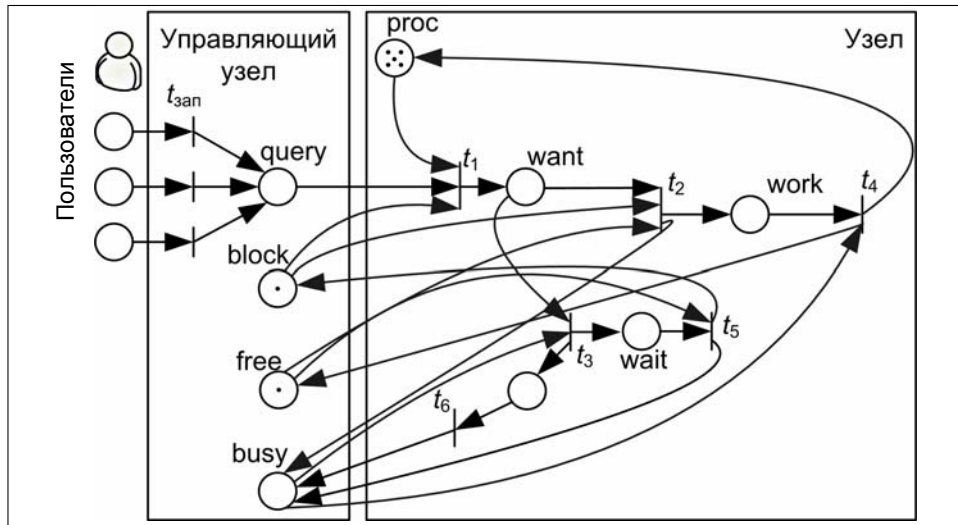


Рис. 3. Модель вычислительного узла, работающего под управлением планировщика над общей памятью с глубиной очереди 1

Позиции и переходы в данной сети Петри имеют следующую семантику:

- proc — свободные в данный момент времени процессоры;
- query — запрос на выполнение задания от пользователя;
- want — процессор активен и желает начать работу;
- work — процессор получил доступ к общей памяти и выполняет вычисления;
- wait — активный процессор ожидает доступа к общей памяти;
- block — блокируется доступ к общей памяти и очереди ожидания, если они заняты другими процессорами;
- free — управляющий узел сигнализирует о снятии блокировки общей памяти;
- busy — управляющий узел сигнализирует о том, что общая память заблокирована для доступа.

Показанная на рис. 3 модель достаточно точно описывает процесс выполнения задач с большими потребностями в данных в Grid-окружении. При этом элементам модели соответствуют такие компоненты реальной системы:

1. Позиция query является представлением очереди задач метапланировщика (или планировщика) Grid-системы, а метки в ней — представлением задач в очереди (глобальной или локальной).

2. Метки в позиции proc соответствуют свободным вычислительным узлам Grid-системы (вычислительным элементам или процессорам).

При начальной разметке $M_0 = (4, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0)$ система находится в состоянии покоя (который иногда называют состоянием сна). Из семантики позиций следует и смысл переходов:

- $t_{зап}$ — наличие запроса на обработку данных;
- t_1 — один из свободных процессоров хочет работать;

t_2 — процессор получает доступ к общей памяти;
 t_3 — активный процессор переходит в состояние ожидания;
 t_4 — процессор завершил работу с общей памятью и она разблокирована;
 t_5 — активный процессор из состояния ожидания переходит в состояние работы с общей памятью, при этом одновременно разблокируется переход активного процессора в состояние ожидания.

Переход t_6 и позиция без наименования между переходами t_3 и t_6 введены в результате модификации структуры сети Петри и преобразования полуцикла в цикл. Это сделано во избежание неоднозначностей в процессе последующего анализа сети.

При появлении запроса пользователя на выполнение задания срабатывает сначала один из переходов $t_{\text{зап}}$, а затем переход t_1 . В результате этого один из свободных процессоров переходит в состояние активности (готовности к работе), т.е. переходит в позицию `want`. Если одновременно поступают два запроса, то выполнение одного из них будет задержано из-за отсутствия маркера в позиции `block`. Дальнейшая работа модели очевидна.

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ СВОЙСТВ МОДЕЛИ

Рассмотрим определения некоторых основных свойств сетей Петри.

Определение 5. Переход t *живой* (активный), если он срабатывает при запуске сети из любой начальной разметки.

$$\forall \mu \in R(N): \mu \rightarrow t.$$

Сеть Петри жива, если живым является каждый ее переход.

$$\forall t \forall \mu (t \in T \ \& \ \mu \in R(N)): \mu(p) \rightarrow t.$$

Определение 6. Если существует разметка (маркировка) сети, из которой переход t_i никогда не запускается, то он называется мертвым.

Определение 7. Для сети $C = (P, T, I, O)$ разметка μ' называется непосредственно достижимой из μ , если существует такой переход $t_j \in T$, при котором результатом запуска перехода t_j является разметка μ' .

$$\delta(\mu, t_j) = \mu'.$$

На основе определения 7 можно сформулировать определения достижимой и недостижимой позиций.

Определение 8. Позиция p_i называется достижимой, если для любой начальной разметки существует последовательность переходов, приводящая к $\mu(p_i) > 0$.

Определение 9. Если $\exists p_i$ такая, что

$$\forall t \forall \mu (t \in T \ \& \ \mu \in R(N)): \mu(p_i) = 0,$$

то позиция p_i называется недостижимой.

Сначала исследуем структурные свойства построенной на рис. 1 сети Петри: проверим выполнение свойства ограниченности, удостоверимся в отсутствии мертвых (лишних) переходов и недостижимых позиций. Для подтверждения достижимости всех позиций сети и доказательства живости сети необходимо построить S - и T -инварианты сети.

S -инвариант — это линейное отношение на разметке подмножества позиций, выражающееся в том, что сумма различных меток в позициях положительна. Если в S -инвариант входят все позиции сети Петри, то в построенной модели все позиции являются достижимыми. T -инвариант соответствует последовательности срабатывания переходов, переводящей сеть из разметки M в ту же самую разметку M [14]. Если T -инвариант содержит все переходы сети, то она жива.

Для нахождения S - и T -инвариантов сети построим целочисленную $n \times m$ матрицу инцидентности сети Петри A (табл. 1), где n и m — мощности множеств P и T соответственно. В матрице A элемент $A_{ij} = 1$, если при выполнении перехода j фишка добавляется в позицию i . $A_{ij} = -1$, если при выполнении перехода j фишка убирается из позиции i . $A_{ij} = 0$, если при выполнении перехода j число фишек в позиции i не изменяется.

Таблица 1. Построение матрицы инцидентности сети Петри (рис. 2)

Состояние сети Петри	t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
Query	1	-1	0	0	0	0	0
Proc	0	-1	0	0	1	0	0
Block	0	-1	1	0	0	1	0
Want	0	1	-1	-1	0	0	0
Wait	0	0	0	1	0	-1	0
Work	0	0	1	0	-1	1	0
Free	0	0	-1	0	1	-1	0
Busy	0	0	1	-1	-1	1	1
Users	-1	0	0	0	1	0	0
Dop	0	0	0	1	0	0	-1

Утверждение. Показанная на рис. 2 сеть Петри, описывающая модель функционирования вычислительного узла Grid-системы, является ограниченной, живой и не содержит недостижимых позиций.

Доказательство.

Воспользуемся уравнением состояний

$$Ax = 0, \tag{10}$$

где A — целочисленная $n \times m$ матрица инцидентности сети Петри; n и m — мощности множеств P и T соответственно; Ax — m -мерный вектор Париха [15]. С помощью уравнения состояния (10) определим S - и T -инварианты сети Петри. Это и даст возможность выявить мертвые переходы, недостижимые позиции и проверить ограниченность сети.

Размерность матрицы инцидентности A в (10) для данной сети Петри составляет 10×7 (10 уравнений, 7 неизвестных), а вектора Париха x — 7. В соответствии с табл. 1 матрица инцидентности для данной сети Петри будет иметь вид

$$A = \begin{bmatrix} 1 & -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & -1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 1 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & -1 \end{bmatrix}.$$

Для получения множества S - и T -инвариантов сети Петри используется TSS -алгоритм [16, 17], который позволяет построить минимальную порождающую систему решений однородной системы линейных диофантовых уравнений над множеством натуральных чисел N .

Согласно [16, 17] TSS -алгоритм позволяет сгенерировать множество S - или T -инвариантов. Входными данными алгоритма являются матрица системы S размерности $p \times q$ (p строк и q столбцов) с начальным множеством решений M . Работа TSS -алгоритма на языке псевдокода описывается следующим образом.

```

TSS(M, p, q, S)
begin
    if M = ∅ then M = {e | e is canonical vector of Nq};
    for i := 1 to p do
        M := TSS1(M, Li(x));
    if M = ∅ then (print (“NO SOLUTION”); STOP)
    else CLEAN (M)
    print(M)
end
TSS1(M, L(x))
begin
    M0 = ∅; M+ := ∅; M- := ∅;
    forall e ∈ M do
        (if SCP(e, L(x)) = 0 then M0 := M0 ∪ {e} else
        if SCP(e, L(x)) > 0 then M+ := M+ ∪ {e} else M- := M- ∪ {e});

```

```

M' := M0;
if M+ ≠ ∅ ∧ M- ≠ ∅ then
  (forall u ∈ M+ do
    (forall v ∈ M- do
      e := -L(v)u + L(u)v; M' := M' ∪ {e} ))
  return (M')
end

```

В приведенном фрагменте псевдокода функция $L_i(x) = a_{i1}x_1 + a_{i2}x_2 + \dots + a_{iq}x_q$ представляется вектором $(a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{iq})$, $SCP(x, y)$ означает скалярное произведение векторов x и y , а процедура чистки CLEAN (M) удаляет лишние решения.

В соответствии с TSS-алгоритмом система диофантовых уравнений (10) имеет два решения.

$$x_1 = \{1, 1, 1, 0, 1, 0, 0\}^T,$$

$$x_2 = \{1, 1, 0, 1, 1, 1, 1\}^T.$$

На основе решений этой системы можно построить T -инварианты (табл. 2).

Таблица 2. T -инварианты сети Петри (рис. 2)

t_0	t_1	t_2	t_3	t_4	t_5	t_6
1	1	1	0	1	0	0
1	1	0	1	1	1	1

Поскольку в табл. 2 нет ни одного столбца, содержащего только нулевые элементы, значит все переходы в сети Петри являются живыми при данной начальной разметке, т.е. каждый переход в сети срабатывает хотя бы один раз. Несложно удостовериться, что это свойство выполняется и для других возможных начальных разметок (варьироваться может число фишек во входных позициях сети), следствием чего является *отсутствие тупиков*, когда в системе не может возникнуть ситуация взаимной блокировки вычислений или доступа к данным (общим или распределенным). Действительно, тупик возникает в сети Петри, если нельзя запустить один или несколько переходов. Так как все переходы живые, то сеть Петри обладает третьим требуемым свойством — характеризуется отсутствием тупиков.

Сгенерируем S -инварианты данной сети Петри. Для этого найдем решения системы уравнений

$$A^m y = 0, \tag{11}$$

где A — целочисленная $n \times m$ матрица инцидентности сети Петри; m — символ транспонирования матрицы; y — n -мерный вектор.

Система диофантовых уравнений (11), содержащая 7 уравнений и 10 неизвестных, имеет следующие решения:

$$y_1 = \{0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 0, 0\}^T,$$

$$y_2 = \{0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0\}^T,$$

$$y_3 = \{0, 1, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0\}^T,$$

$$y_4 = \{1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 0\}^T,$$

$$y_5 = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 0, 1\}^T,$$

$$y_6 = \{0, 1, 0, 1, 1, 0, 0, 1, 0, 1\}^T,$$

$$y_7 = \{1, 0, 0, 1, 1, 1, 0, 0, 1, 0\}^T.$$

Решения матрично-векторного уравнения (11) определяют S -инварианты сети Петри (табл. 3).

Таблица 3. S -инварианты сети Петри (рис. 2)

query	proc	block	want	wait	work	free	busy	users	dop
0	0	0	0	0	1	1	0	0	0
0	0	1	1	1	0	0	0	0	0
0	1	0	1	1	1	0	0	0	0
1	0	0	1	1	1	0	0	1	0
0	0	0	0	0	0	1	1	0	1
0	1	0	1	1	0	0	1	0	1
1	0	0	1	1	1	0	0	1	0

Из табл. 3 следует, что сеть Петри является *ограниченной*, поскольку все позиции в ней соответствуют положительным инвариантам. Это означает, что ни в одной позиции сети не может скапливаться бесконечное число фишек. Из табл. 3 также следует, что все позиции в сети достижимы, т.е. модель не содержит лишних позиций.

Таким образом, модель вычислительного узла в виде сети Петри живая, ограниченная и все позиции в сети достижимы.

Утверждение доказано.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫПОЛНИМОСТИ СВОЙСТВ ВЗАИМНОГО ИСКЛЮЧЕНИЯ И РАВНОПРАВИА

При доказательстве утверждения было показано, что модель вычислительного узла Grid-системы в виде сети Петри обладает основными структурными свойствами подобных моделей: ограниченностью, достижимостью и активностью. При этом сеть характеризуется *отсутствием тупиков* (deadlock free), т.е. выполняется третье из базовых свойств моделей синхронизации доступа к данным.

Для исследования выполнимости свойств взаимного исключения (mutex) и равноправия (fairness) необходимо построить *транзиционную систему* [18] или *граф достижимых разметок* сети Петри.

Для начальной разметки, определяемой соотношением $M_0 = (\text{proc}, \text{want}, \text{query}, \text{block}, \text{free}, \text{busy}, \text{wait}, \text{work}) = (4, 0, 3, 1, 1, 0, 0, 0)$, транзитивная система сети Петри (рис. 3) показана на рис. 4.

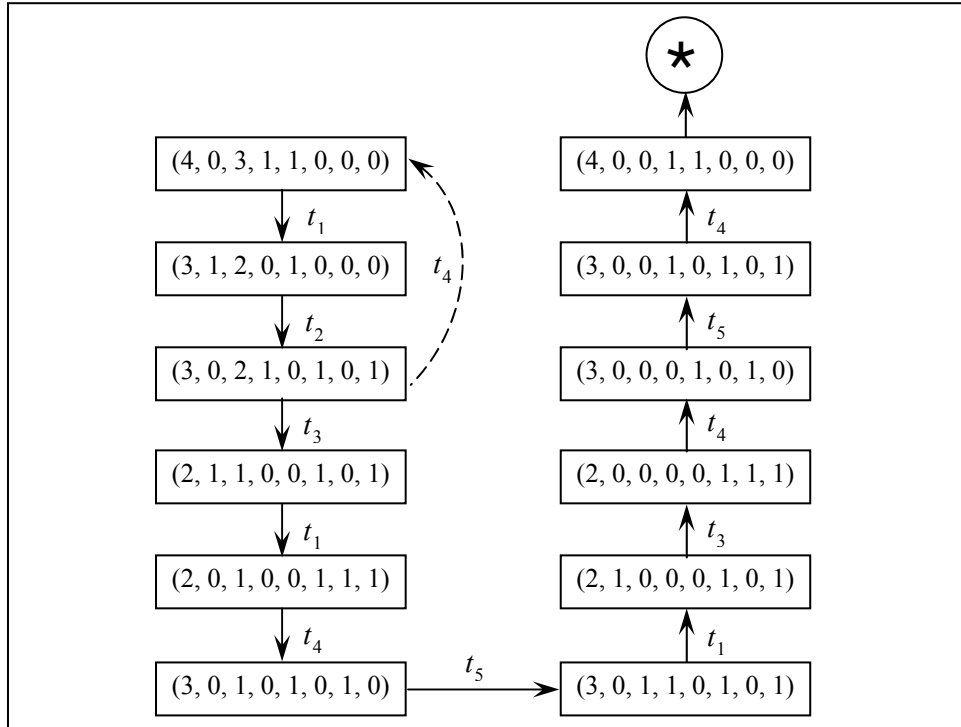


Рис. 4. Транзитивная система сети Петри, моделирующей работу узла Grid-системы

Простой анализ полученной транзитивной системы показывает, что свойство взаимного исключения (mutex) выполняется, поскольку в позиции work во время функционирования сети Петри появляется не более одной фишки, что справедливо и для позиции wait. Значит, в режиме активного ожидания или работы с общей памятью в каждый момент находится не более одного процессора. Число фишек в этих позициях в транзитивной системе на рис. 3 задается двумя последними элементами векторов разметки.

Свойство равноправия (fairness) тоже, очевидно, выполняется, поскольку при появлении активного процессора (1 в позиции want) в разметке μ из нее достижима разметка μ' , при которой в позиции want находится 0 фишек. А это означает, что процессор рано или поздно получит доступ к соответствующему ресурсу (памяти, данным и т.п.).

ВЫВОДЫ

Представлена имитационная модель функционирования узла Grid-системы на основе сетей Петри. Выбор математического аппарата для моделирования объясняется необходимостью обеспечить синхронизацию доступа к общим ресурсам (данным) Grid-системы при выполнении параллельных вычислений.

Анализ предлагаемой модели выполняется с использованием матриц инцидентности и TSS-алгоритма решения систем линейных диофантовых уравнений над множеством натуральных чисел. Построенная модель обладает необходимыми свойствами сетей Петри — является живой, ограниченной и все ее позиции достижимы.

Доказано выполнение базовых свойств, необходимых для обеспечения синхронизации доступа к данным и их корректной обработки в узлах Grid-системы.

Дальнейшие исследования будут направлены на построение модели узла Grid-системы с учетом очереди возможных запросов, а также на моделирование работы Grid-системы в целом.

Работа выполнена в рамках темы НАНУ «Интеллект» при поддержке гранта INTAS-CNES-NSAU «Data Fusion Grid Infrastructure» (Ref. Nr 06-1000024-9154).

ЛИТЕРАТУРА

1. Krauter K., Buyya R., Maheswaran M. A Taxonomy and Survey of GRID Resource Management Systems and Distributed Computing // Software-Practice and Experience. — 2002. — № 32 — P. 135–164.
2. Менаске Д., Алмейда В. Производительность Web-служб. Анализ, оценка и планирование. — СПб. — ДиаСофт, 2003. — 480 с.
3. Куссуль Н.Н., Шелестов А.Ю., Лобунец А.Г. Применение методов операционного анализа для оценки производительности GRID-систем// Кибернетика и вычислительная техника. — 2004. — Вып. 144. — С. 3–20.
4. Питерсон Дж. Теория сетей Петри и моделирование систем. — М.: Мир, 1984. — 264 с.
5. Dissemination and Exploitation of Grids in Earth science. — <http://www.eu-degree.eu/>.
6. EGEE gLite middleware. — <http://glite.web.cern.ch/>.
7. GridWay Metascheduler. — <http://www.gridway.org/>.
8. Коваленко В.Н., Коваленко Е.И., Шорин О.Н. Разработка диспетчера заданий грид, основанного на опережающем планировании. — М.: ИПМ РАН. — 2005. — 28 с.
9. Globus Toolkit. — <http://globus.org/>.
10. TORQUE resource manager. — <http://www.clusterresources.com/pages/products/torque-resource-manager.php>.
11. PBS Professional. — http://www.pbsgridworks.com/PBSTemp1.3.aspx?top_nav_name=Products&item_name=PBS%20Professional&top_nav_str=1.
12. Sun Grid Engine. — <http://www.sun.com/software/gridware/>.
13. Platform LSF. — <http://www.platform.com/Products/platform-lsf-family/platform-lsf>.
14. Дубинин В.Н., Зинкин С.А. Языки логического программирования в проектировании вычислительных систем и сетей: Учеб. пособие. — Пенза: Изд-во Пенз. гос. техн. ун-та, 1997. — 100 с.
15. Parikh R. On Context-Free Languages // J. of the ACM. — 1966. — 13, № 4. — P. 570–581.
16. Кривой С.Л. Критерий совместности систем линейных диофантовых уравнений над множеством натуральных чисел// Доп. НАНУ. — 1999. — № 5. — С. 107–112.
17. Krivoi S. A criteria of Compatibility Systems of Linear Diophantine Constraints // Lecture Notes in Comp. Science. — 2002. — № 2328. — P. 264–271.
18. Лещевський О.А. Сучасні проблеми кібернетики. Нормативний курс. Навчальна електронна бібліотека факультету кібернетики Київського національного університету ім. Тараса Шевченка. — <http://www.unicyb.kiev.ua/Library/>.

Поступила 12.10.2007

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЗНАНИЙ В ЭЛЕКТРОННЫХ БИБЛИОТЕКАХ

О.В. КАНИЩЕВА

Рассмотрен метод компараторной идентификации как один из логических методов Data Mining для решения задач обработки текстов естественного языка в автоматизированных информационных библиотечных системах.

ВСТУПЛЕНИЕ. АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ

Разработка и исследование электронных библиотек (ЭБ) — одно из актуальных направлений развития информационных систем в последние годы, привлекающее внимание специалистов различного профиля.

Специалисты в области библиотечного дела видят в ЭБ новые возможности для совершенствования автоматизированных библиотечных систем, превращения их в публичные ЭБ нового поколения с развитыми средствами представления разнообразных цифровых информационных ресурсов и доступа к ним, создаваемые с учетом необходимости интеграции издательских и библиотечных технологий.

Специалисты в области информационных систем рассматривают ЭБ как новый класс информационных систем, базирующихся на самых передовых достижениях информационных и телекоммуникационных технологий [1]. Разработки таких систем порождают разнообразные сложные теоретические и технологические проблемы, требующие отдельного исследования.

К числу наиболее острых технологических проблем развития ЭБ можно отнести следующие:

- Развитие методов представления информационных ресурсов ЭБ.
- Определение состава метаданных, независимых от применений и специфических для различных сфер приложения, разработка средств их представления.
- Развитие новых подходов к каталогизации информационных ресурсов ЭБ.
- Разработка техники индексирования информационных ресурсов различной природы (текст, аудио, видео и т.п.), методов поиска и обнаружения релевантных ресурсов, а также принципов и средств их анализа.
- Интеграция неоднородных коллекций информационных ресурсов на логическом и семантическом уровнях.
- Разработка подходов к интеграции метаданных и методов их реализации.
- Создание функционально развитых пользовательских интерфейсов (многоязыковый доступ, визуализация данных, персонализация функций, поддержка семантического уровня общения пользователей с системой).
- Эффективное использование новых Веб-технологий, основанных на стандартах платформы XML.
- Исследование архитектурных аспектов ЭБ.
- Обеспечение безопасности информационных ресурсов ЭБ.

Однако для обычного пользователя наиболее актуальной остается проблема эффективного поиска, который даст на выходе релевантную, полезную информацию.

В настоящее время для анализа больших массивов информации на естественном языке практически во всех сферах деятельности человека, где накоплены большие объемы данных, используют технологии Data Mining и Text Mining.

Text Mining содержит новые методы для выполнения семантического анализа текстов, информационного поиска и управления. Синонимом понятия Text Mining является KDT (Knowledge Discovering in Text — поиск или обнаружение знаний в тексте).

В отличие от технологии Data Mining, которая предусматривает анализ упорядоченной в некие структуры информации, технология Text Mining анализирует большие и сверхбольшие массивы неструктурированной информации.

Программы, реализующие эту задачу, должны некоторым образом оперировать текстами на естественном языке и при этом «понимать» смысл анализируемого текста. Одним из методов Text Mining является метод сравнения, или метод компараторной идентификации.

Для формализации и хранения знаний в памяти интеллектуальной системы (ИС), а эта система также имеется и в ЭБ, рассматриваются задачи представления знаний. Для этого разрабатываются специальные модели, языки для описания и выделяются различные типы знаний, изучаются источники, из которых ИС может черпать знания, создаются процедуры и приемы, с помощью которых возможно приобретение знаний для ИС. Проблема представления знаний для ИС чрезвычайно актуальна, так как ИС — это система, функционирование которой опирается на информацию о проблемной области, хранящуюся в ее памяти.

В настоящее время из существующих моделей представления знаний наиболее популярны логические, сетевые, продукционные, фреймовые и формальные модели представления знаний [2]. В рассматриваемой задаче идентификации знаний в интеллектуальных системах предметной областью обычно называется множество предметов и процессов, которые составляют основу необходимой для решения задачи обработки информации.

Общеизвестно, что языки, предназначенные для описания предметных областей, называются языками представления знаний (ЯПЗ). Считается, что универсальным ЯПЗ является естественный язык. Однако использовать его в системах машинного представления знаний сложно, так как он тяжело поддается формализации из-за нерегулярности, полисемии, омонимии и т.д., а главное — из-за отсутствия формализации семантики естественного языка, которая имела бы достаточно эффективную операционную поддержку.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА КОМПАРАТОРНОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ В ЗАДАЧАХ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ

Классическая задача идентификации состоит в том, чтобы по входному x и выходному y сигналам объекта определить закон $y = F(x)$ преобразования. Такую идентификацию называют прямой, поскольку она осуществляется при непосредственном доступе к выходному сигналу. Однако в ряде случаев возникает необходимость в косвенной идентификации объекта, когда у исследователя нет прямого доступа к выходному сигналу. Многие задачи этого типа можно решать методом компараторной идентификации, который

позволяет излагать основные положения теории интеллекта дедуктивным способом, исходя исключительно из физически наблюдаемых фактов. Этот метод хорошо зарекомендовал себя при обработке лингвистических объектов различных уровней языка.

Компараторная идентификация используется для формального описания низших (периферических) механизмов интеллекта (восприятие, узнавание и понимание). Эти механизмы формируют физические реакции человека на внешние воздействия.

Обрабатываемые библиотечными системами объекты являются дискретными, конечными и детерминированными, что позволяет использовать при обработке объектов АИБС (автоматизированной информационной библиотечной системы) метод компараторной идентификации.

Для реализации метода компараторной идентификации необходим единый универсальный, хорошо разработанный математический аппарат, желательно, ориентированный и на моделирование всех уровней лингвистической обработки текстов документов. Опыт исследования закономерностей передачи информации на естественном языке, а именно с такой информацией мы имеем дело в библиотечных системах, показывает, что целесообразно пользоваться одним формальным аппаратом описания закономерностей передачи и интеллектуального преобразования информации [3]. Таким наиболее универсальным математическим языком, служащим для решения задач обработки текстовой информации, является алгебра конечных предикатов [4, 5].

Используя алгебру предикатов и предикатных операций, можно создать интегрированную модель представления знаний, основанную на традиционных моделях, а также на моделях представления знаний на естественном языке. Алгебра предикатов компенсирует необходимость в других ЯПЗ. При этом объекты и отношения во всех моделях представления знаний записываются в виде уравнений алгебры предикатов. Системы предикатных уравнений могут решаться с помощью универсального решателя, который представляет собой программу, написанную на некотором алгоритмическом языке высокого уровня. Кроме того, любое уравнение алгебры предикатов может быть представлено в виде переключательной цепи, что предоставляет возможность сконструировать процессор представления знаний из комбинаций таких цепей [6].

Исчисления высказываний (ИВ) и предикатов (ИП) гарантируют непротиворечивость вывода, алгоритмической разрешимости (для ИВ) и полурешимости (для ИП первого порядка).

Алгебра конечных предикатов (АКП) полностью характеризуется алфавитом A , состоящим из k символов a_1, a_2, \dots, a_k и алфавитом переменных B из n символов x_1, x_2, \dots, x_n . Средствами АКП может быть описан любой n -местный k -ичный предикат $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$, заданный алфавитом A . Формулы АКП состоят из следующих символов: a_1, a_2, \dots, a_k , переменных x_1, x_2, \dots, x_n , знаков дизъюнкции \vee , конъюнкции \wedge , логических констант 0 и 1, называемых соответственно ложью и истиной.

Предикатом P , заданным на U^n , называется любая функция $\varepsilon = P(x_1, x_2, \dots, x_n)$, отображающая множество U^n в множество Σ , где $\Sigma = \{0, 1\}$.

Под универсумом элементов U^n будем понимать все возможные тексты документов полнотекстовой базы данных, вторичные документы (рефе-

рат, аннотация, библиография), ключевые понятия, дескрипторы, рубрики, подрубрики и т.д. Переменные x_1, x_2, \dots, x_n называются предметными, а их значения предметами. При $n=1$ предикат P является унарным, при $n=2$ — бинарным, при $n=3$ — тернарным. Если множество U конечно, как при моделировании библиотечных процессов, то и предикат P конечный. Предикаты, обозначаемые 1 и 0, называются тождественно истинными и тождественно ложными соответственно.

Множество всех n -арных предикатов, заданных на U^n , на котором определены операции дизъюнкции, конъюнкции и отрицания, называется алгеброй n -арных предикатов на U^n . При этом операции дизъюнкции, конъюнкции и отрицания являются базисными для алгебры предикатов, которая при любом значении n является разновидностью булевой алгебры, и в ней выполняются все ее основные тождества. Базисными предикатами для алгебры предикатов будут предикаты вида

$$x_i^a = \begin{cases} 1, & \text{если } x_i = a \quad (1 \leq i \leq n), \\ 0, & \text{если } x_i \neq a \quad (1 \leq i \leq n), \end{cases} \quad (1)$$

где $i = \{1, 2, \dots, n\}$; a — любой элемент универсума. Предикат вида (1) называется предикатом узнавания предмета a по переменной x_i . Если универсум конечен и состоит из m элементов, всего имеется $m \times n$ различных базисных элементов. Алгебра предикатов полна в том смысле, что любой ее предикат можно представить в виде суперпозиции базисных операций, примененных к базисным элементам. На языке АКП могут быть описаны любые конечные отношения, поэтому другой математический аппарат, предназначенный для описания произвольных конечных отношений, в логическом смысле обязательно будет эквивалентен алгебре конечных предикатов.

ВЫВОДЫ

Рассмотренный метод описания знаний (метод компараторной идентификации) с использованием алгебры предикатов может дать в перспективе возможность единообразного представления знаний в электронных библиотеках в виде соответствующих уравнений. Любое такое уравнение можно реализовать аппаратно переключательной схемой. Используя переключательные цепи, можно конструировать технические средства обработки и хранения знаний как некоторый интеллектуальный процессор обработки знаний.

ЛИТЕРАТУРА

1. Когаловский М.Р., Новиков Б.А. Электронные библиотеки — новый класс информационных систем // Программирование. — 2000. — № 3. — С. 3–8.
2. Искусственный интеллект: В 3-х кн. — Модели и методы / Под ред. Д.А. Поспелова. — М.: Радио и связь, 1990. — Кн. 2. — 304 с.
3. Хайрова Н.Ф., Шаронова Н.В. Автоматизированные информационные системы: задачи обработки информации. — Харьков: Нар. укр. акад., 2002. — 120 с.
4. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Теория интеллекта. Технические средства. — Харьков: Вища шк., 1986. — 136 с.
5. Шабанов-Кушнаренко Ю.П., Шаронова Н.В. Компараторная идентификация лингвистических объектов. — Киев: ИСДО, 1993. — 116 с.
6. Шабанов-Кушнаренко Ю.П. Теория интеллекта. Математические средства. — Харьков: Вища шк., 1984. — 144 с.

Поступила 30.05.2007

**ИЕРАРХИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ В СИСТЕМАХ,
ИМЕЮЩИХ СЕТЕВОЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЕ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ОГРАНИЧЕННЫЕ
РЕСУРСЫ, КАК ЗАДАЧА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ**

М.З. ЗГУРОВСКИЙ, А.А. ПАВЛОВ

Исследуется проблема эффективного планирования в системах с сетевым представлением технологических процессов и ограниченными ресурсами. Обосновывается использование иерархических моделей планирования. Показано, что даже эффективное решение задачи по одному скалярному критерию является лишь начальным этапом реализации эффективного планирования как задачи принятия решений с плохо формализованной глобальной целью.

Эффективное планирование в системах с сетевым представлением технологий и ограниченными ресурсами требует применения системных концепций планирования и управления. Действительно, в классической постановке эффективное планирование — это нахождение расписания выполнения работ, которому соответствует минимум некоторого функционала с учетом ограничений, задаваемых сетевым представлением технологического процесса. Точная математическая модель такой задачи — многоэтапная задача календарного планирования. Размерность реальных сетевых систем приводит к трансвычислительной сложности обработки информации [1].

Известные эвристические методы решения многоэтапных задач календарного планирования проблему трансвычислительной сложности решают ценой качества (они основаны на линейной или случайной комбинации различных правил предпочтения и оптимизации на шаг вперед, что не гарантирует качества полученного решения). Многие исследователи к проблеме эффективного планирования в сетевых системах подходят в первую очередь как к проблеме планирования дискретного производства — мелкосерийного (80% мирового производства), производства на заказ и т.д.

В такой постановке задача характеризуется системной сложностью [1] и решается [2, 3] с использованием принципов экономической, технологической, эргономической, информационной рациональности [1]. В работе [12] с учетом органической связи системной и вычислительной сложности обсуждаемой проблемы сформулированы и обоснованы требования к математическому обеспечению эффективного планирования в сетевых системах.

1. Реализация прогрессивной организации производства.
2. Иерархичность планирования.
3. Агрегация и дезагрегация как реализация иерархического планирования.
4. Многокритериальность — умение в условиях жесткой рыночной конкуренции эффективно реализовывать расписания по критериям (выполнение заказов точно в срок), максимизация прибыли, минимизация суммарного штрафа как за опережение, так и за запаздывание заданий относительно директивных сроков и т.д.
5. Модульность алгоритмического обеспечения — выделение общих алгоритмических блоков базовых алгоритмов для решения различных задач и их комбинирование на основе очевидного конструктивного анализа с целью эффективного системного проектирования алгоритмов.
6. Универсальность алгоритмического обеспечения — возможность легко перестраиваться с одного критерия на другой, включать дополнительные ограничения, адаптироваться к планированию различных объектов управления. Реализация планирования функционирования сложных объектов путем создания системы новых высокоэффективных взаимосвязанных алгоритмов на основе единой логики решения задач по различным критериям оптимальности, что позволит эффективно решать задачи планирования в комплексе.
7. Использование эффективных точных и приближенных методов решения оптимизационных задач планирования, модели которых являются различного вида труднорешаемыми задачами комбинаторной оптимизации. Математическое обеспечение системы должно содержать современные теоретические достижения в области решения рассматриваемых труднорешаемых комбинаторных задач планирования.
8. Адекватность реальному производству в его сложности и многообразии. Модель планирования должна отражать ограниченность ресурсов, фактическую загрузку оборудования, взаимосвязь между операциями в технологическом процессе, большое количество разнообразных производственных связей, конструкторскую сложность продукции, неравномерность количественного выпуска изделий по плановым периодам, неодновременность поступления заданий на выполнение и другие особенности производства.

В работах [9, 14, 18, 19] предложена трехуровневая модель планирования в сетевых системах с ограниченными ресурсами, основанная на изложенных выше принципах.

Трехуровневая модель решает следующие задачи.

Задача 1. Критерий оптимальности — максимизация суммарной прибыли предприятия в случае отсутствия директивных сроков

$$\min \sum_{i=1}^n \omega_i C_i,$$

где C_i — время выполнения i -го изделия.

Задача 2. Для всех изделий $i \in I$ введены директивные сроки D_i , которые не могут быть нарушены (планирование «точно в срок»). Критерий оптимальности

$$\max \sum_{i=1}^n \omega_i U_i,$$

где $U_i = \begin{cases} 1, & C_i = D_i, \\ 0, & C_i \neq D_i. \end{cases}$

Задача 3. Для некоторых изделий $i \in I$ заданы директивные сроки, которые не могут быть нарушены. Для остальных изделий $D_i = 0$. Критерий оптимизации

$$\min \sum_{i=1}^k \omega_{i_j} C_{i_j},$$

где $\{i_1, \dots, i_k\}$ — множество номеров заданий, для которых отсутствуют директивные сроки.

Задача 4. Для всех изделий $i \in I$ введены директивные сроки D_i . Необходимо изготовить n изделий, минимизируя суммарное взвешенное опоздание изготовления изделий относительно директивных сроков

$$\min \sum_{i=1}^n \omega_i \max(0, C_i - D_i).$$

Задача 5. Постановка задачи соответствует постановке задачи 4. Введено дополнительное условие: для некоторых изделий директивные сроки не могут быть нарушены. Критерий оптимальности

$$\min \sum_{j=1}^k \omega_{i_j} \max(0, C_{i_j} - D_{i_j}),$$

где $\{i_1, \dots, i_k\}$ — множество номеров заданий, для которых разрешается нарушать директивные сроки.

Задача 6. Для всех изделий $i \in I$ введены директивные сроки D_i . Для каждого изделия указана величина ω_i — абсолютная прибыль от реализации изделия, не зависящая от момента окончания выполнения изделия в том случае, если оно выполняется без опоздания относительно директивного срока, иначе прибыль предприятия по этому изделию равна нулю. Критерий оптимальности — максимизация суммарной прибыли предприятия

$$\max \sum_{i=1}^n \omega_i U_i,$$

где $U_i = \begin{cases} 1, & C_i \leq D_i, \\ 0, & C_i > D_i. \end{cases}$

Задача 7. Для всех изделий заданы директивные сроки D_i . Необходимо минимизировать суммарный штраф предприятия как за опережение, так и за опоздание относительно директивных сроков

$$\min \sum_{i=1}^n \omega_i |C_i - D_i|.$$

На первом уровне система агрегируется в задачу календарного планирования с одним станком и показателем качества задачи 1, у которой веса определяются содержательной постановкой задач 1–7. Ограничения на порядок выполнения работ задаются ориентированным ациклическим графом. Граф построен на критических путях, определенных сетевым представлением технологических процессов. Иными словами, на первом уровне решается NP-трудная в сильном смысле задача комбинаторной оптимизации — «минимизация суммарного взвешенного момента окончания выполнения работ при ограничениях на порядок их выполнения, заданных ориентированным ациклическим графом». Задача 1 с учетом агрегации строго решается эффективным точным ПДС-алгоритмом [5]. Алгоритмы для задач 2–7 являются эвристическими с обоснованными эффективными эвристиками.

Решение модели первого уровня определяет субоптимальные приоритеты выполнения групп работ. Модели второго и третьего уровня на основе этих приоритетов путем последовательной дезагрегации строят согласованный календарный план выполнения работ, учитывающий ограничения на ресурсы, сетевое представление технологического процесса и критерий оптимальности.

Таким образом, общая многоэтапная модель календарного планирования заменяется последовательностью дискретных математических моделей, совместимых с иерархией решений, которые должны быть приняты на каждом уровне планирования, а также порожденных ими систем новых высокоэффективных взаимосвязанных алгоритмов решения задач планирования по различным критериям оптимальности. Этот подход позволяет использовать на разных уровнях иерархии эффективные точные ПДС-алгоритмы для одноэтапных задач календарного планирования [5, 10, 14, 17, 24]. Предложенная трехуровневая модель планирования реализует стратегию поиска глобального оптимума, что позволяет получать решения, близкие к оптимальным.

Более глубокий анализ процедуры эффективного планирования в реальных сетевых системах с ограниченными ресурсами показывает, что на самом деле лицо, принимающее решение (ЛПР), определяет качество расписания работ не по одному, пусть и наиболее важному, критерию, а по их совокупности [11], общее количество которых превышает 40 [22, 23]. Поэтому возможность получать по различным скалярным критериям с помощью трехуровневой модели планирования близкие к оптимальным расписания работ нельзя считать завершающим этапом планирования.

Действительно, каждое расписание становится альтернативой, которая оценивается ЛПР по всей совокупности критериев. Возникает задача выбора наилучшей альтернативы в соответствии со слабо формализованной глобальной целью.

Решение проблемы эффективного планирования в сетевых системах с ограниченными ресурсами оказалось напрямую связанным с решением системной проблемы отсутствия однозначной формализации задачи [1]. Метод анализа иерархий Саати [20, 21, 26] является одним из наиболее эффектив-

ных методов разрешения сформулированной выше системной неопределенности, однако имеет одно существенное ограничение: он конструктивен только для случая хорошо обусловленных матриц парных сравнений малой размерности. Этого недостатка лишен модифицированный метод анализа иерархий [6–8], где веса объектов определяются на основании решений специальным образом сформулированных задач оптимизации.

Более того, если все критерии, по которым оценивается расписание, имеют численное выражение, то найденные модифицированным методом анализа иерархий результирующие веса альтернатив могут использоваться для нахождения функции принятия решений, т.е. для формализации глобальной цели [4, 15, 16].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследована с позиций системной и алгоритмической трансвычислительной сложности проблема эффективного планирования в системах, имеющих сетевое представление технологических процессов и ограниченные ресурсы.

Основываясь на принципах рациональности преодоления трансвычислительной сложности предложена и обоснована иерархическая модель планирования и ее алгоритмическое обеспечение.

Показано, что решение в классической постановке задачи планирования как многоэтапной задачи календарного планирования является лишь начальным этапом задачи принятия решений, формализация которой приводит к использованию модифицированного метода анализа иерархий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. Основи системного аналізу. — Київ: Видавнича група ВНУ, 2007. — 544 с.
2. IT-Предприятие®: система полного цикла автоматизации. — <http://www.it.ua>.
3. Котлер Ф. Основы маркетинга: Пер. с англ. / Под общ. ред. Е.М. Пеньковой. — М.: Прогресс, 1990. — 736 с.
4. Павлов А.А., Иванова А.А., Чеховский А.В. Восстановление функции принятия решения с использованием модифицированного метода анализа иерархий // Вестн. НТУ «ХПИ»: Системный анализ, управление и информационные технологии. — 2009. — № 4. — С. 17–23.
5. Конструктивные полиномиальные алгоритмы решения индивидуальных задач из класса NP / А.А. Павлов и др. // Киев: Техніка, 1993. — 128 с.
6. Павлов А.А., Кут В.И. Математические модели оптимизации для обоснования и нахождения весов объектов по неоднородным матрицам парных сравнений // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2007. — № 3. — С. 28–37.
7. Павлов А.А., Лищук Е.И., Кут В.И. Математические модели оптимизации для обоснования и нахождения весов объектов в методе парных сравнений // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2007. — № 2. — С. 13–21.
8. Павлов А.А., Лищук Е.И., Кут В.И. Многокритериальный выбор в задаче обработки данных матрицы парных сравнений // Вісн. НТУУ «КПІ»: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — 2007. — № 46. — С. 84–88.
9. Организационная модель планирования мелкосерийного производства в условиях рынка / А.А. Павлов и др. // Проблемы информатизации и управления: Сб. науч. тр. — Киев: КМУГА, 1997. — С. 3–5.

10. Павлов А.А., Мисюра Е.Б. Эффективный точный ПДС-алгоритм решения задачи о суммарном запаздывании для одного прибора // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2004. — № 4. — С. 30–59.
11. Математические модели иерархического планирования и принятия решений / А.А. Павлов и др. // Вісн. НТУУ «КПІ»: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — 2008. — № 48. — С. 63–66.
12. Требования к созданию систем производственного планирования и управления сложными объектами, имеющими сетевое представление технологических процессов и ограниченные ресурсы / А.А. Павлов и др. // Вісн. НТУУ «КПІ»: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — 2007. — № 46. — С. 3–12.
13. Общая модель и методы иерархического планирования функционирования сложных организационно-производственных систем с ограниченными ресурсами / А.А. Павлов и др. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2005. — № 4. — С. 7–23.
14. Павлов А.А., Теленик С.Ф. Информационные технологии и алгоритмизация в управлении // Киев: Техніка. — 2002. — 344 с.
15. Павлов А.А., Чеховский А.В. Построение многомерной полиномиальной регрессии. Активный эксперимент с ограничениями // Вестн. НТУ «ХПИ»: Системный анализ, управление и информационные технологии. — 2009. — № 4. — С. 174–186.
16. Павлов А.А., Штанькевич А.С. Восстановление закономерности по результатам пассивного эксперимента с ограниченным набором данных // Вестн. НТУ «ХПИ»: Системный анализ, управление и информационные технологии. — 2009. — № 4. — С. 160–169.
17. Павлов О.А., Аксьонова Л.О. Мінімізація сумарного зваженого моменту закінчення робіт як перший рівень моделі дрібносерійного виробництва та способи її розв'язання // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2002. — № 1. — С. 119–130.
18. Багаторівнева система планування дрібносерійного виробництва в умовах ринку / О.А. Павлов та ін. // П'ята укр. конф. з автоматичного управління «Автоматика-98». — Ч.ІІ. — Київ: НТУУ «КПІ», 1998. — С. 182–186.
19. Павлов О.А., Мисюра О.Б., Мельников О.В. Загальна схема розв'язання задач в багаторівневій системі планування дрібносерійного виробництва в умовах ринку // Вісн. НТУУ «КПІ»: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — 2000. — № 33. — С.27–33.
20. Саати Т. Принятие решений. Метод анализа иерархий: Tomas Saaty. The Analytic Hierarchy Process: Пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе. — М.: Радио и связь, 1993. — 315 с.
21. Саати Т., Кернс К. Аналитическое планирование. Организация систем: Пер. с англ. Р.Г. Вачнадзе / Под ред. И.А. Ушакова. — М.: Радио и связь, 1991. — 223 с.
22. Тоценко В.Г. Методы и системы поддержки принятия решений. Алгоритмический аспект. — Киев: Наук. думка. — 2002. — 381 с.
23. Finke G., Gordon V., Proth J.-M. Scheduling with due dates (Annotated Bibliography of complexity and algorithms) // Les cahiers du laboratoire Leibniz. — 2002. — № 42. — 58 p.
24. Koulamas C. The total tardiness problem: review and extensions // Operations Research. — 42, № 6. — P. 1025–1041.
25. Research efficiency of exact of PDS-algorithm of task of minimization of the total delay implementation of tasks by one device / А.А. Pavlov et al. // Committee on Data for Science and Technology CODATA'08: 21st International CODATA Conference (October 5–8, 2008, Kyiv, Ukraine). — P. 338–342.
26. Saaty T.L. Multycriteric decision making. The Analytic Hierarchy Process, McGraw Hill International. — N.Y., 1980. Translated to Russian, Portuguese, and Chinese. Revised edition, Paperback. — Pittsburgh, PA: RWS Publications, 1990, 1996. — 437 p.

Поступила 10.04.2009

УДК 519.872

ЧИСЛЕННЫЙ МЕТОД АНАЛИЗА МОДЕЛИ БЕСПРОВОДНОЙ СЕТИ СВЯЗИ СО СЛОЖНОЙ СХЕМОЙ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ КАНАЛОВ И ОЧЕРЕДЯМИ

А.З. МЕЛИКОВ, А.М. ВЕЛИБЕКОВ

Предлагаются простые вычислительные процедуры для приближенного расчета показателей качества обслуживания в беспроводных сотовых сетях связи при неизолированной схеме резервирования каналов для «нетерпеливых» хэндовер-вызовов. Новые вызовы могут ожидать в конечной или бесконечной очереди. Предложенные процедуры имеют высокую точность для макросоты и микросоты, в которых интенсивности трафиков новых и хэндовер-вызовов существенно отличаются. Приводятся результаты численных экспериментов по расчету моделей.

ВВЕДЕНИЕ

В беспроводных сотовых сетях передачи речи различаются вызовы двух типов — новые (o -вызовы) и хэндовер-вызовы (h -вызовы). В таких сетях при переходе мобильного пользователя границы данной соты вызов становится хэндовер-вызовом для соседней соты. И если в новой соте имеется хотя бы один свободный канал, то разговор h -вызова возобновляется для него незаметно. В противном случае происходит вынужденное прерывание разговора.

Поскольку h -вызовы более чувствительны к возможным потерям и задержкам, чем o -вызовы, то зачастую используются различные схемы приоритетного обслуживания h -вызовов. Эти схемы подразумевают использование резервных каналов для h -вызовов и/или рациональную организацию их очереди [1–6].

Вместе с тем, с целью компенсации шансов o -вызовов необходимо организовать их очереди (конечной или бесконечной длины), сохраняя при этом высокую приоритетность h -вызовов при поступлении в систему, которая обеспечивается за счет резервирования для них определенного числа радиоканалов. Модели последнего типа исследовались в работах [7, 8]. В обеих работах обслуживание разнотипных вызовов происходит согласно схеме неизолированного резервирования каналов, т.е. все радиоканалы соты делятся на две группы, и для обслуживания поступившего h -вызова поиск

свободного канала сначала осуществляется в первой группе. Если все каналы этой группы заняты, то — во второй. Если все каналы обеих групп заняты, то h -вызов теряется. «Терпеливые» o -вызовы могут обслуживаться лишь в первой группе каналов, и если в момент поступления o -вызова все каналы этой группы заняты, то он становится в очередь.

В работе [7] предполагается, что при освобождении канала первой группы один h -вызов, обслуживаемый в этот момент во второй группе каналов, переключается в первую группу, независимо от длины очереди o -вызовов.

В работе [8] переназначение h -вызова из второй группы к первой разрешается лишь тогда, когда в очереди отсутствуют o -вызовы. Иными словами, переназначение h -вызова из второй группы к первой не допускается, если в очереди имеется хотя бы один o -вызов. Для расчета показателей качества обслуживания (Quality of Service, QoS) этих схем распределения каналов в работе [7] использован матрично-геометрический подход, а в [8] — метод производящих функций.

В работе [9] разработаны простые вычислительные процедуры для расчета показателей QoS соты при использовании схемы распределения каналов, предложенной в [7]. Там же показано, что разработанные приближенные формулы имеют высокую точность.

Настоящая работа является продолжением исследований, начатых в [9]. Здесь разрабатываются вычислительные процедуры для расчета показателей QoS соты при использовании схемы распределения каналов, предложенной в [8]. Несмотря на то, что, на первый взгляд, качественное описание этих двух схем распределения каналов мало отличается, их математический анализ различный. В частности, условия эргодичности соответствующих моделей существенно отличаются друг от друга.

СХЕМА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КАНАЛОВ И МЕТОД ПРИБЛИЖЕННОГО РАСЧЕТА QoS

Рассматривается модель изолированной соты беспроводной сети, которая содержит буфер лишь для ожидания в очереди o -вызовов, а h -вызовы обслуживаются по схеме с явными потерями. Предполагается, что o -вызовы (h -вызовы) поступают в систему согласно закону Пуассона с интенсивностью λ_o (λ_h), и требуемое время их обслуживания не зависит от типа вызова, распределено экспоненциально со средним μ^{-1} . Идентичность разнотипных вызовов по длительности их обслуживания объясняется отсутствием памяти экспоненциального распределения, так как если в период обслуживания o -вызова происходит процедура хэндовер, то оставшееся время обслуживания данного вызова в новой соте (уже в качестве h -вызова) также имеет экспоненциальное распределение с тем же средним μ^{-1} .

Обслуживание разнотипных вызовов осуществляется по схеме неизолированного резервирования каналов. Все $m + n$ каналы делятся на две

группы: первая содержит m каналов, вторая — n . Для обслуживания поступившего h -вызова поиск свободного канала сначала производится в первой группе, а если все m каналов этой группы заняты, то — во второй. Если все каналы обеих групп являются занятыми, то h -вызов теряется. Новые вызовы могут обслуживаться лишь в первой группе каналов, и если в момент поступления o -вызова все каналы этой группы заняты, то этот вызов становится в очередь. При освобождении канала первой группы (т.е. после завершения обслуживания одного o - или h -вызова в данной группе) один h -вызов, обслуживаемый в этот момент во второй группе, переключается в первую лишь тогда, когда в очереди отсутствуют o -вызовы. Иными словами, переназначение h -вызова из второй группы к первой не допускается, если в очереди имеется хотя бы один o -вызов.

Новые вызовы выбираются из очереди для обслуживания лишь тогда, когда число свободных каналов становится больше n . При этом очередь o -вызовов обслуживается по схеме FCFS (First Come First Served).

Необходимо отметить, что при фиксированном значении общего числа каналов увеличение числа резервных каналов (т.е. n) приводит, с одной стороны, к уменьшению вероятности потери h -вызовов, а с другой — уменьшению коэффициента использования радиоканалов соты. Иными словами, может оказаться, что увеличение числа резервных каналов является эффективным в микросотах, в которых интенсивность h -вызовов существенно превосходит интенсивность o -вызовов. А в макросотах, в которых интенсивность o -вызовов существенно превосходит интенсивность h -вызовов, увеличение числа резервных каналов не эффективно. Таким образом, возникает необходимость разработки эффективных алгоритмов для исследования этой схемы распределения радиоканалов в микро- и макросотах.

Расчет характеристик модели макросоты

Сначала рассмотрим модель макросоты с бесконечной очередью o -вызовов. Под показателями QoS понимаются вероятность потери h -вызовов (P_h), средняя длина очереди o -вызовов (L_q^o), а также среднее время ожидания в очереди (W_q^o).

Состояние системы в произвольный момент времени описывается двумерным вектором $\mathbf{k} = (k_1, k_2)$, где k_1 — общее число занятых каналов, $k_1 = 0, 1, \dots, m + n$, и k_2 — число o -вызовов в очереди, $k_2 = 0, 1, 2, \dots$. Множество всех возможных состояний S модели имеет вид

$$S = \bigcup_{i=0}^n S_i, S_i \cap S_j = \emptyset, i \neq j, \quad (1)$$

где

$$S_0 = \{(j, 0) : j = 0, 1, \dots, m\} \cup \{(m, j) : j = 1, 2, \dots\}, S_i = \{(m + i, j) : j = 0, 1, 2, \dots\}, i > 0.$$

Исходя из принятой схемы распределения каналов системы, заключаем, что элементы производящей матрицы $q(\mathbf{k}, \mathbf{k}')$, $\mathbf{k}, \mathbf{k}' \in S$, соответствующей двумерной цепи Маркова, определяются из соотношений (рис. 1)

$$q(\mathbf{k}, \mathbf{k}') = \begin{cases} \lambda_o + \lambda_h, & \text{если } k_1 \leq m-1, \mathbf{k}' = \mathbf{k} + \mathbf{e}_1, \\ \lambda_h, & \text{если } k_1 \geq m, \mathbf{k}' = \mathbf{k} + \mathbf{e}_1, \\ \lambda_o, & \text{если } k_1 \geq m, \mathbf{k}' = \mathbf{k} + \mathbf{e}_2, \\ k_1 \mu, & \text{если } k_1 \leq m-1, \mathbf{k}' = \mathbf{k} - \mathbf{e}_2, \\ m\mu, & \text{если } k_1 \geq m, \mathbf{k}' = \mathbf{k} - \mathbf{e}_2, \\ k_1 \mu, & \text{если } k_1 > m, k_2 = 0, \mathbf{k}' = \mathbf{k} - \mathbf{e}_1, \\ (k_1 - m)\mu, & \text{если } k_1 > m, k_2 > 0, \mathbf{k}' = \mathbf{k} - \mathbf{e}_1, \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (2)$$

где $\mathbf{e}_1 = (1, 0)$, $\mathbf{e}_2 = (0, 1)$.

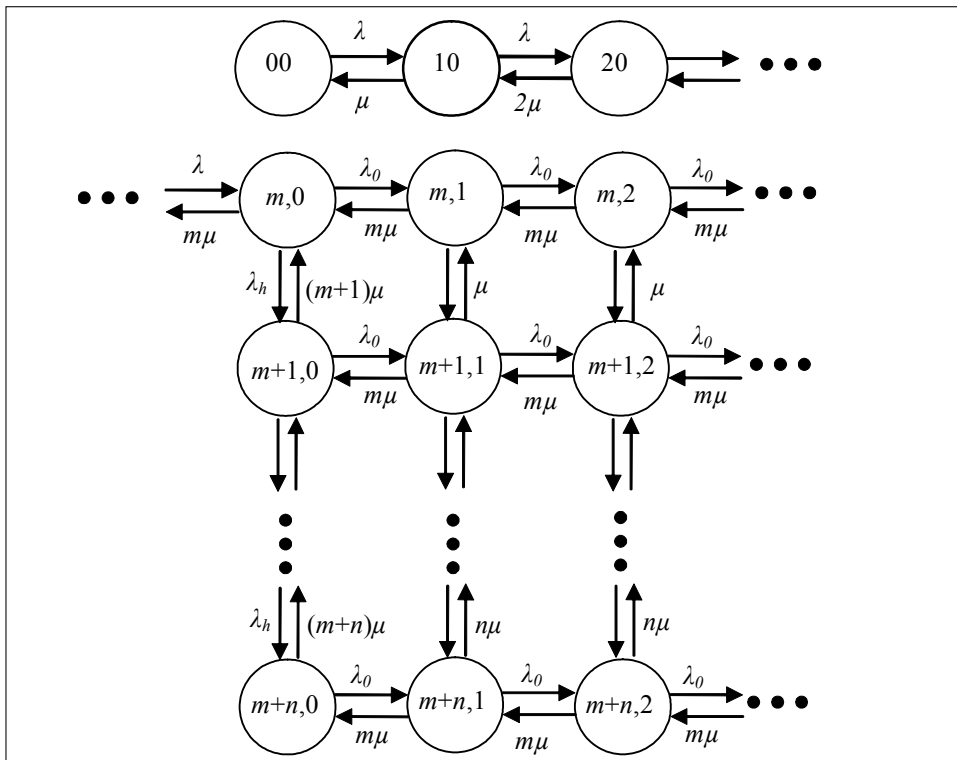


Рис. 1. Граф модели

Стационарную вероятность состояния $\mathbf{k} \in S$ обозначим $p(\mathbf{k})$. Тогда искомые QoS системы выражаются с помощью стационарного распределения модели

$$P_h = \sum_{i=0}^{\infty} p(m+n, i), \quad (3)$$

$$L_q^o = \sum_{i=1}^{\infty} ip(i), \quad (4)$$

$$W_q^0 = L_q^o / \lambda_o, \quad (5)$$

где $p(i) := \sum_{\mathbf{k} \in S} p(\mathbf{k}) \delta(k_2, i)$ — маргинальные распределения модели; $\delta(i, j)$ — символы Кронеккера.

Как было отмечено выше, в макросотах выполняется условие $\lambda_o \gg \lambda_h$. Ниже при выполнении этого условия предлагается простая численная процедура для определения показателей QoS (3)–(5).

Указанное условие о соотношении интенсивностей разнотипных трафиков позволяет заключить, что переходы из состояния $\mathbf{k} \in S$ в состояние $\mathbf{k} + \mathbf{e}_2 \in S$ осуществляются чаще, чем в состояние $\mathbf{k} + \mathbf{e}_1 \in S$. Иными словами, переходы между состояниями (микросостояниями) внутри классов S_i происходят чаще, чем переходы между состояниями из разных классов. Исходя из этого классы микросостояний S_i в (1) представляются в виде изолированных укрупненных состояний $\langle i \rangle$, и в исходном пространстве состояний S строится функция укрупнения

$$U(\mathbf{k}) = \langle i \rangle, \text{ если } \mathbf{k} \in S_i, i = 0, 1, \dots, n. \quad (6)$$

Функция (6) определяет укрупненную модель, которая является одномерной цепью Маркова с пространством состояний $\tilde{S} := \{\langle i \rangle : i = 0, 1, 2, \dots, n\}$.

Элементы производящей матрицы расщепленных моделей с пространством состояний S_i , обозначаемые $q_i(\mathbf{k}, \mathbf{k}')$, $\mathbf{k}, \mathbf{k}' \in S_i$, определяются на основе соотношений (2):

для модели с пространством состояний S_0

$$q_0(\mathbf{k}, \mathbf{k}') = \begin{cases} \lambda_o + \lambda_h, & \text{если } k_1 \leq m - 1, \mathbf{k}' = \mathbf{k} + \mathbf{e}_1, \\ \lambda_o, & \text{если } k_1 \geq m, \mathbf{k}' = \mathbf{k} + \mathbf{e}_2, \\ k_1 \mu, & \text{если } k_1 \leq m - 1, \mathbf{k}' = \mathbf{k} - \mathbf{e}_1, \\ m \mu, & \text{если } k_1 \geq m, \mathbf{k}' = \mathbf{k} - \mathbf{e}_2, \\ 0 & \text{в остальных случаях;} \end{cases} \quad (7)$$

для модели с пространством состояний $S_i, i \geq 1$

$$q_i(\mathbf{k}, \mathbf{k}') = \begin{cases} \lambda_o, & \text{если } \mathbf{k}' = \mathbf{k} + \mathbf{e}_2, \\ m \mu, & \text{если } \mathbf{k}' = \mathbf{k} - \mathbf{e}_2, \\ 0 & \text{в остальных случаях.} \end{cases} \quad (8)$$

Стационарная вероятность состояния $\mathbf{k} \in S$ внутри расщепленной модели с пространством состояний S_i обозначается $\rho(\mathbf{k})$. Тогда, с помощью (7), (8) находятся стационарные распределения расщепленных моделей:

для модели с пространством состояний S_0

$$\rho(i, j) = \begin{cases} \frac{v^i}{i!} \rho_0, & \text{если } 1 \leq i \leq m, j = 0, \\ \frac{v^m}{m!} \tilde{v}_o^j \rho_0, & \text{если } i = m, j \geq 1, \end{cases} \quad (9)$$

где

$$\rho_0 = \left(\sum_{i=0}^m \frac{v^i}{i!} + \frac{v^m}{m!} \frac{\tilde{v}_o}{1 - \tilde{v}_o} \right)^{-1},$$

$$v_x = \lambda_x / \mu, x \in \{o, h\}, v = v_o + v_h, \tilde{v}_o = v_o / m; \quad (10)$$

для модели с пространством состояний $S_i, i = 1, 2, \dots, n$

$$\rho(m+i, j) = \tilde{v}_o^j (1 - \tilde{v}_o), j = 0, 1, 2, \dots \quad (11)$$

При выводе формул (9)–(11) получается интуитивно ясное и простое условие эргодичности модели $\tilde{v}_o < 1$, т.е. условие эргодичности системы не зависит от нагрузки хэндовер-вызовов.

Интенсивности переходов между укрупненными состояниями $\langle i \rangle, \langle i' \rangle \in \tilde{S}$, $q(\langle i \rangle, \langle i' \rangle)$ определяются так:

$$q(\langle i \rangle, \langle i' \rangle) = \sum_{\mathbf{k} \in S_i, \mathbf{k}' \in S_{i'}} q(\mathbf{k}, \mathbf{k}') \rho(\mathbf{k}). \quad (12)$$

С учетом (2), (9)–(11) из соотношения (12) определяются элементы производящей матрицы укрупненной модели

$$q(\langle i \rangle, \langle i' \rangle) = \begin{cases} \lambda_h a, & \text{если } i = 0, i' = 1, \\ \lambda_h, & \text{если } 1 \leq i \leq n-1, i' = i+1, \\ (m+i)(1-\tilde{v}_o) + i\mu\tilde{v}_o, & \text{если } 1 \leq i \leq n, i' = i-1, \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (13)$$

где $a := 1 - \rho_0 \sum_{j=0}^{m-1} \frac{v^j}{j!}$.

При выполнении условия эргодичности системы из соотношений (13) определяется стационарное распределение укрупненной модели ($\pi(\langle i \rangle): \langle i \rangle \in \tilde{S}$):

$$\pi(\langle i \rangle) = a \prod_{j=1}^i \frac{\lambda_h^j}{(m+j)(1-\tilde{v}_o) + j\mu\tilde{v}_o} \pi(\langle 0 \rangle), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (14)$$

где

$$\pi(\langle 0 \rangle) = \left(1 + a \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^i \frac{\lambda_h^j}{(m+j)(1-\tilde{v}_o) + j\mu\tilde{v}_o} \right)^{-1}. \quad (15)$$

Далее с использованием (9)–(11), (14) и (15) стационарное распределение исходной модели приближенно определяется как

$$p(k_1, k_2) \approx \rho(k_1, k_2) \pi(\langle k_1 \rangle). \quad (16)$$

После выполнения необходимых математических преобразований получим следующие приближенные формулы для вычисления характеристик (3)–(5) исследуемой модели:

$$P_h \approx \pi(< n >), \quad (17)$$

$$L_q^o \approx \frac{\tilde{V}_o}{1 - \tilde{V}_o}, \quad (18)$$

$$W_q^o \approx L_q^o / \lambda_o. \quad (19)$$

Замечание 1. Из формул (18) и (19) следует, что средняя длина очереди o -вызовов и среднее время их ожидания в очереди не зависят от нагрузки h -вызовов. Это объясняется тем, что в макросотах нагрузка o -вызовов существенно превышает нагрузки h -вызовов, и потому нагрузка h -вызовов к первой группе каналов является незначительной.

Предложенный метод позволяет определить показатели QoS макросоты и при наличии лишь ограниченного буфера для ожидания в очереди o -вызовов. Пусть максимально допустимая длина очереди o -вызовов равна $R, R < \infty$. Тогда при любых значениях нагрузочных и структурных параметров в системе существует стационарный режим, т.е. не требуется выполнение условия эргодичности $\tilde{V}_o < 1$.

В данном случае пространство состояний исходной модели

$$S(R) = \bigcup_{i=0}^n S_i(R), S_i(R) \cap S_j(R) = \emptyset, i \neq j, \quad (20)$$

где

$$S_0(R) = \{(j, 0): j = 0, 1, \dots, m\} \cup \{(m, j): j = 1, 2, \dots, R\},$$

$$S_i(R) = \{(m + i, j): j = 0, 1, 2, \dots, R\}.$$

Применяя описанный выше подход и опуская промежуточные математические преобразования, находим, что для данной модели стационарное распределение укрупненной модели определяется как

$$\pi_R(< i >) = a \prod_{j=1}^i \frac{\lambda_h^j}{(m + j)b + j\mu(1 - b)} \pi_R(< 0 >), i = 1, 2, \dots, n, \quad (21)$$

где

$$\pi_R(< 0 >) = \left(1 + a \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^i \frac{\lambda_h^j}{(m + j)b + j\mu(1 - b)} \right)^{-1}, b := \frac{1 - \tilde{V}_o}{1 - \tilde{V}_o^{R+1}}. \quad (22)$$

Следовательно, приближенные значения показателей QoS (3)–(5) для модели с ограниченной очередью вычисляются следующим образом:

$$P_h(R) \approx \pi_R(< n >), \quad (23)$$

$$L_q^o(R) \approx b \sum_{i=1}^R i \tilde{V}_o^i, \quad (24)$$

$$W_q^o(R) \approx \frac{L_q^o(R)}{\lambda_o(1 - P_o(R))}, \quad (25)$$

где $P_o(R)$ — вероятность потери o -вызовов, и для данной модели

$$P_o(R) \approx \tilde{v}_o^R \left(\frac{v^m}{m!} \pi_R(< 0 >) + b(1 - \pi_R(< 0 >)) \right). \quad (26)$$

Замечание 2. Из формулы (24) следует, что в модели макросоты с ограниченным буфером средняя длина очереди o -вызовов также не зависит от нагрузки h -вызовов. Однако в данном случае (25) среднее время ожидания в очереди o -вызовов зависит от нагрузки h -вызовов. Это объясняется тем, что в данной модели нагрузка h -вызовов влияет на вероятность потери o -вызовов (26).

Расчет характеристик модели микросоты

Как отмечено выше, в микросотах выполняется условие $\lambda_o \ll \lambda_h$. Это говорит о том, что переходы из состояния $\mathbf{k} \in S$ в состояние $\mathbf{k} + \mathbf{e}_1 \in S$ осуществляются чаще, чем в состояние $\mathbf{k} + \mathbf{e}_2 \in S$, исходя из чего предложенная выше вычислительная процедура для модели с бесконечной очередью модифицируется следующим образом.

Рассматривается разбиение пространства состояний

$$S = \bigcup_{i=0}^{\infty} \tilde{S}_i, \tilde{S}_i \cap \tilde{S}_{i'} = \emptyset, \quad i \neq i', \quad (27)$$

где $\tilde{S}_0 = \{(j, 0) : j = 0, 1, \dots, m + n\}$, $\tilde{S}_i = \{(j, i) : j = m, m + 1, \dots, m + n\}$, $i \geq 1$.

Согласно указанному выше условию о соотношении нагрузок разнотипных вызовов в разбиении (27) переходы между микросостояниями внутри классов \tilde{S}_i осуществляются чаще, чем переходы между состояниями из разных классов.

Поскольку выбранная схема разбиения исходного пространства состояний полностью определяет структуры расщепленной и укрупненной моделей, то дальнейшие процедуры для приближенного расчета стационарного распределения исходной модели уже очевидны. Поэтому ниже опускаются некоторые известные промежуточные этапы решения данной задачи.

Стационарное распределение расщепленной модели с пространством состояний \tilde{S}_0 совпадает с соответствующим распределением классической однопоточковой модели Эрланга $M/M/m+n/0$ с интенсивностью $\lambda(j)$, зависящей от состояния системы, т.е. от числа вызовов (j) в системе.

$$\lambda(j) = \begin{cases} \lambda_o + \lambda_h, & \text{если } j < m, \\ \lambda_h, & \text{если } j \geq m. \end{cases}$$

Следовательно, стационарное распределение расщепленной модели с пространством состояний \tilde{S}_0 определяется как

$$\rho_0(j) = \begin{cases} \frac{v^j}{j!} \rho_0(0), & \text{если } j = 1, \dots, m, \\ \left(\frac{v}{v_h} \right)^m \frac{v_h^j}{j!} \rho_0(0), & \text{если } j = m + 1, \dots, m + n, \end{cases} \quad (28)$$

где $\rho_0(0) = \left(\sum_{j=0}^m \frac{v^j}{j!} + \left(\frac{v}{v_h} \right)^m \sum_{j=m+1}^{m+n} \frac{v_h^j}{j!} \right)^{-1}$.

Стационарное распределение расщепленной модели с пространством состояний $\tilde{S}_i, i \geq 1$, совпадает с соответствующим распределением классической однопоточковой модели Эрланга $M/M/n/0$ с нагрузкой v_h Erl.

Поскольку число классов микросостояний в (27) является бесконечным, то укрупненная модель представляет собой одномерную цепь Маркова с бесконечным пространством состояний $S' = \{ \langle i \rangle : i = 0, 1, 2, \dots \}$. Здесь укрупненное состояние $\langle i \rangle$ содержит все микросостояния класса \tilde{S}_i . Тогда, с учетом (2) и указанного выше о стационарных распределениях расщепленных моделей получим следующие формулы для вычисления элементов укрупненной модели:

$$q(\langle i \rangle, \langle i' \rangle) = \begin{cases} \lambda_o c, & \text{если } i = 0, i' = 1, \\ \lambda_o, & \text{если } i \geq 1, i' = i + 1, \\ m\mu, & \text{если } i' = i - 1, \\ 0 & \text{в остальных случаях,} \end{cases} \quad (29)$$

где $c := \sum_{k=m}^{m+n} \rho_0(k)$.

Из (29) получаются условия эргодичности модели $\tilde{v}_o < 1$. Это условие полностью совпадает с аналогичным условием, полученным для модели макросоты. При выполнении условия эргодичности стационарное распределение укрупненной модели определяется так:

$$\pi(\langle i \rangle) = c \tilde{v}_o^i \pi(\langle 0 \rangle), \quad i \geq 1, \quad (30)$$

где

$$\pi(\langle 0 \rangle) = \frac{1 - \tilde{v}_o}{1 - \tilde{v}_o + c \tilde{v}_o}. \quad (31)$$

С учетом (28)–(31) после выполнения известных математических преобразований получаются следующие приближенные формулы для вычисления показателей QoS модели микросоты с бесконечными очередями о-вызовов:

$$P_h \approx \rho_0(m+n)\pi(\langle 0 \rangle) + E_B(v_h, n)(1 - \pi(\langle 0 \rangle)), \quad (32)$$

$$L_q^o \approx \frac{1 - \pi(\langle 0 \rangle)}{1 - \tilde{v}_o}, \quad (33)$$

$$W_q^o \approx L_q^o / \lambda_o, \quad (34)$$

где $E_B(v_h, n)$ — B-формула Эрланга для модели $M/M/n/0$ с нагрузкой v_h Erl.

Замечание 3. Из формул (33) и (34) следует, что в отличие от макросоты в микросотах средняя длина очереди o -вызовов и среднее время ожидания существенно зависят от нагрузки h -вызовов. Это вполне логично, так как в микросотах нагрузка h -вызовов значительно превышает нагрузки o -вызовов, и потому нагрузка h -вызовов к первой группе каналов оказывается значительной.

Как и в предыдущем случае, можно вычислить показатели QoS модели микросоты с конечными очередями $R, R < \infty$ для o -вызовов. Для этой модели при любых допустимых значениях нагрузочных параметров в системе существует стационарный режим. Опуская известные промежуточные этапы, предлагаем конечные формулы для вычисления искомых показателей.

$$P_h(R) \approx \rho_0(m+n)\pi_R(<0>) + E_B(v_h, n)(1 - \pi_R(<0>)), \quad (35)$$

$$L_q^o \approx c\pi_R(<0>)\sum_{i=1}^R i\tilde{V}_o^i, \quad (36)$$

$$P_o(R) \approx \pi_R(<R>), \quad (37)$$

$$W_q^o \approx \frac{L_q^o(R)}{\lambda_o(1 - P_o(R))}. \quad (38)$$

Здесь стационарное распределение укрупненной модели

$$\pi_R(<i>) = c\tilde{V}_o^i\pi_R(<0>), \quad i=1, 2, \dots, R, \quad (39)$$

где

$$\pi_R(<0>) = \frac{1 - \tilde{V}_o}{1 - (1 - c)\tilde{V}_o - c\tilde{V}_o^{R+1}}. \quad (40)$$

ЧИСЛЕННЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Простота предложенных формул вычисления показателей QoS позволяет изучить их поведение практически во всех допустимых диапазонах изменения структурных и нагрузочных параметров соты. На рис. 2–6 показаны зависимости показателей QoS от числа резервируемых каналов для h -вызовов.

Отметим, что поведение функции P_h существенно зависит от конкретных значений нагрузочных параметров модели. Иными словами, не удастся предугадать вид этой функции, что объясняется сложностью используемой стратегии занятия каналов h -вызовами (поиск свободного канала для них сначала осуществляется в общей группе, и если все каналы этой группы заняты, то — в резервной). Для иллюстрации приведем результаты численных экспериментов, которые показывают различные виды этой функции в зависимости от значений исходных данных.

На рис. 2 и 3 показаны виды функции P_h в микросотах. При указанных значениях нагрузочных параметров модели значение функции систематически уменьшается (рис. 2). Это объясняется тем, что при заданных значениях параметров соты h -вызовы плохо используют первую группу каналов, т.е.

фактически используют лишь каналы второй группы, и поэтому с ростом числа каналов значение указанной функции уменьшается.

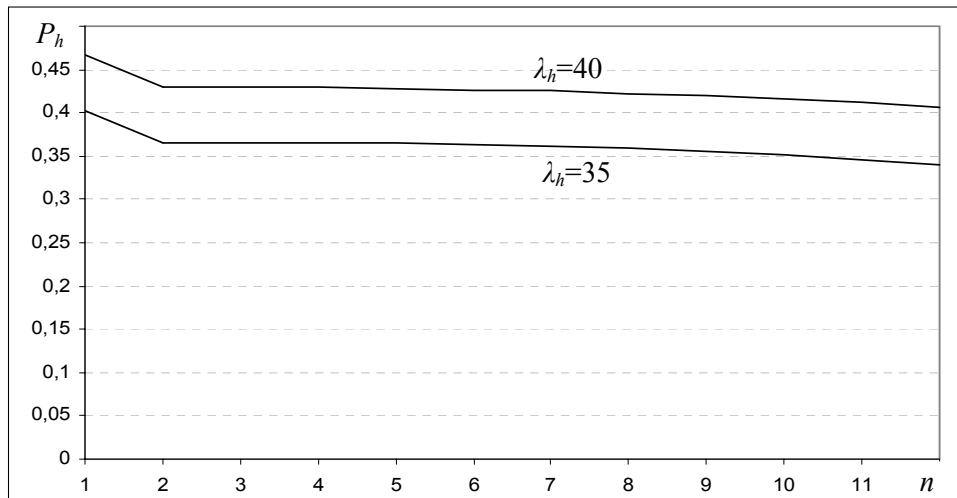


Рис. 2. Зависимость P_h от n в микросотах при $t + n = 15$, $\lambda_o = 5$, $\mu = 2$

На рис. 3. для заданных значений нагрузочных параметров модели при малых значениях числа каналов второй группы h -вызовы плохо используют все доступные каналы, но, вместе с тем, с увеличением числа каналов этой группы суммарный коэффициент использования каналов улучшается.

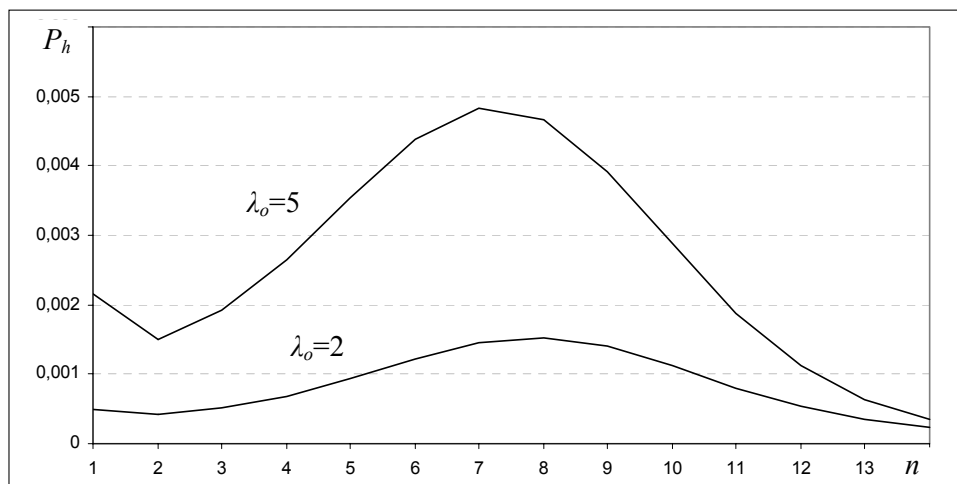


Рис. 3. Зависимость P_h от n в микросотах при $t + n = 15$, $\lambda_h = 20$, $\mu = 4$

На рис. 4 показаны виды функции P_h в макросотах. Для полноты представления здесь приведены случаи возрастания и убывания этой функции относительно изменения числа каналов второй группы. При этом нагрузка o -вызовов фиксированная. При малых нагрузках h -вызовы в основном используют каналы второй группы, и поэтому с увеличением числа каналов этой группы функция P_h уменьшается. При больших нагрузках h -вызовы используют каналы обеих групп, но при выбранных значениях исходных

данных суммарный коэффициент использования каналов h -вызовами оказывается низким, и поэтому функция P_h уменьшается. Отметим, что во всех случаях указанная функция возрастает с ростом нагрузки трафика любого типа.

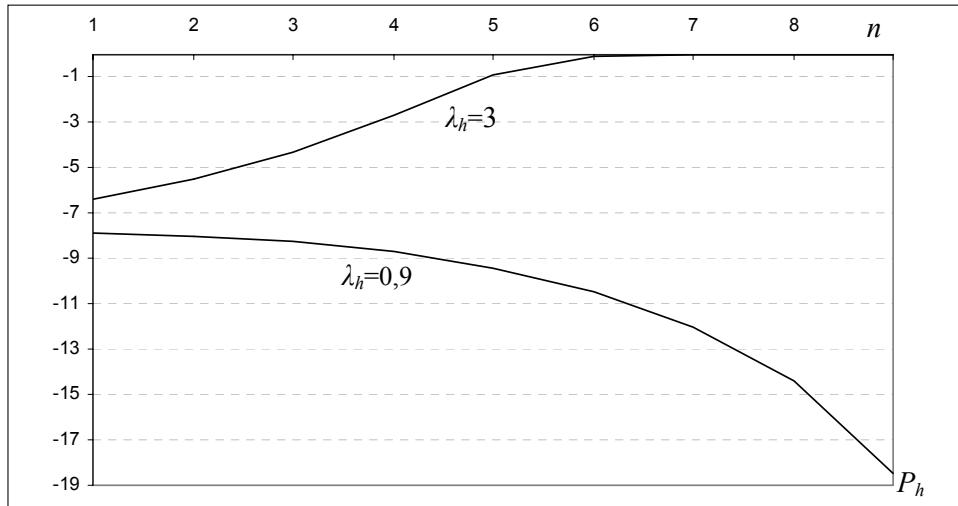


Рис. 4. Зависимость P_h от n в макросотах при $m + n = 10$, $\lambda_o = 15$, $\mu = 20$

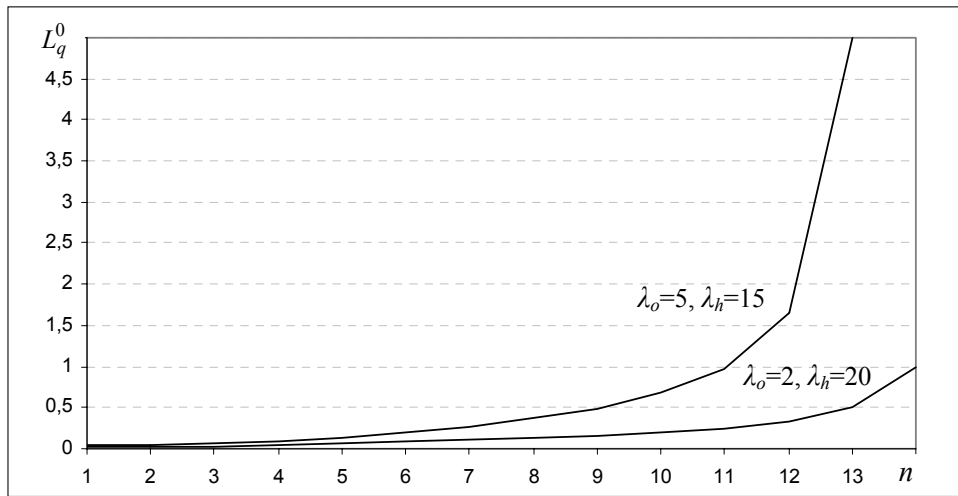


Рис. 5. Зависимость L_q^0 от n в микросотах при $m + n = 15$, $\mu = 2$

В отличие от функции P_h в сотах обоих типов функции L_q^o и W_q^o являются возрастающими относительно числа каналов второй группы, независимо от нагрузки трафиков (при фиксированном общем числе каналов соты), что вполне соответствует теоретическим ожиданиям, так как увеличение числа каналов второй группы уменьшает шансы o -вызовов для принятия на обслуживание в моменты их поступления в систему.

На рис. 5 и 6 показаны виды функций в макросотах. Эти функции имеют аналогичный вид и для микросоты.

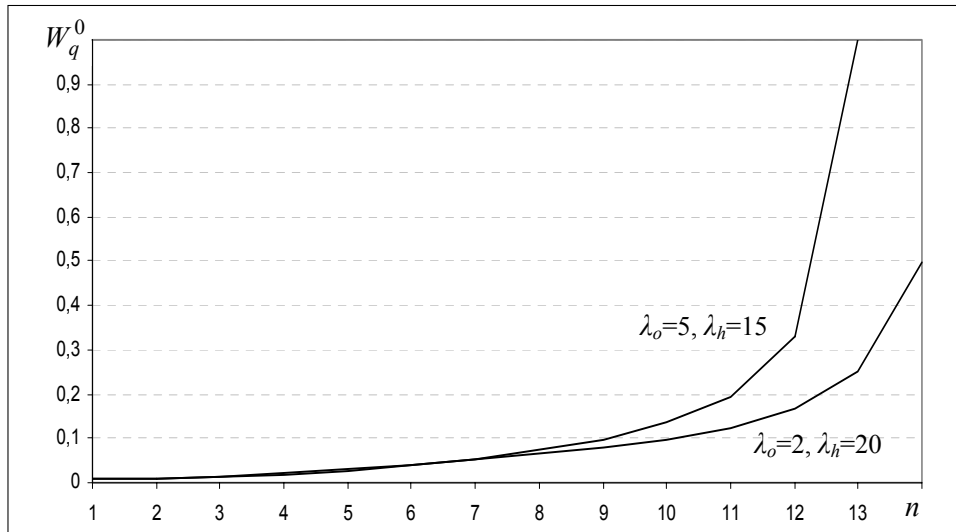


Рис. 6. Зависимость W_q^0 от n в микросотах при $m + n = 15$, $\mu = 2$

Другая цель выполнения численных экспериментов состоит в оценке точности полученных формул. Так, приближенные результаты для макро- и микросоты почти полностью совпадают с результатами работы [8] (ее результаты считаются точными). Некоторые сравнения даны в таблице. Аналогичные результаты получены и для других исходных данных исследуемых моделей.

Сравнения с результатами работы [8] для микросоты при $m + n = 15$, $\lambda_o = 5$, $\lambda_h = 15$, $\mu = 2$

№ п/п	Предложенный подход			Подход в работе [8]			Разница в подходах		
	P_h	L_q^0	W_q^0	\tilde{P}_h	\tilde{L}_q^0	\tilde{W}_q^0	$ P_h - \tilde{P}_h $	$ L_q^0 - \tilde{L}_q^0 $	$ W_q^0 - \tilde{W}_q^0 $
1	0,0506	0,0358	0,0072	0,0509	0,0401	0,0098	0,0003	0,0043	0,0026
2	0,0436	0,0366	0,0073	0,0445	0,0179	0,0088	0,0009	0,0013	0,0106
3	0,0480	0,0609	0,0122	0,0498	0,0625	0,0156	0,0180	0,0443	0,0034
4	0,0534	0,0945	0,0189	0,0588	0,0989	0,0201	0,0054	0,0044	0,0012
5	0,0583	0,1395	0,0279	0,0601	0,1542	0,0302	0,0018	0,0147	0,0023
6	0,0612	0,1978	0,0396	0,0626	0,2002	0,0411	0,0014	0,0024	0,0015
7	0,0611	0,2724	0,0545	0,0655	0,2823	0,0600	0,0044	0,0099	0,0055
8	0,0576	0,3678	0,0736	0,0599	0,3987	0,0765	0,0023	0,0109	0,0029
9	0,0511	0,4943	0,0989	0,0545	0,5002	0,0856	0,0034	0,0059	0,0133
10	0,0428	0,6757	0,1351	0,0478	0,6987	0,1246	0,0050	0,0230	0,0105
11	0,0341	0,9792	0,1958	0,0352	0,9899	0,2003	0,0011	0,0107	0,0045
12	0,0259	1,6576	0,3315	0,0279	1,6803	0,2998	0,0020	0,0227	0,0317

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложены простые вычислительные процедуры для расчета показателей QoS макро- и микросоты при использовании известной схемы резервирова-

ния каналов для приоритетных h -вызовов с бесконечной или конечной очередью «терпеливых» o -вызовов. Разработанный подход может быть использован и для исследования показателей QoS аналогичных систем, в которых применяются другие механизмы резервирования каналов, а также для исследования моделей с «нетерпеливыми» новыми вызовами. Эти задачи являются предметом дальнейших исследований.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hong D., Rapoport S.S. Traffic model and performance analysis of cellular mobile radio telephones systems with prioritized and nonprioritized handoff procedures // IEEE Trans. on Vehicular Technology. — 1986. — **35**, № 3. — P. 77–92.
2. Tekinay S., Jabbari B. A measurement-based prioritization scheme for handovers in mobile cellular networks // IEEE J. Selected Areas in Commun. — 1992. — **10**, № 8. — P. 1343–1350.
3. Yoon C.H., Un C.K. Performance of personal portable radio telephone systems with and without guard channels // IEEE J. Selected Areas in Commun. — 1993. — **11**, № 6. — P. 911–917.
4. Lin Y.B., Mohan S., Noerpel A. Queueing priority channel assignment strategies for PCS handoff and initial access // IEEE Trans. on Vehicular Technology. — 1994. — **43**, № 3. — P.704–712.
5. Пономаренко Л.А., Меликов А.З., Бабаев А.Т. Численный метод исследования моделей сотовых сетей связи с ограниченной очередью h -вызовов // Проблемы управления и информатики. — 2005. — № 3. — С. 76 – 88.
6. Пономаренко Л.А., Меликов А.З., Бабаев А.Т. Исследование характеристик сетей сотовой связи с ограниченной очередью нетерпеливых h -вызовов // Проблемы управления и информатики. — 2006. — № 4. — С. 97 – 107.
7. Guerin R. Queueing-blocking system with two arrival streams and guard channel // IEEE Trans. on Commun. — 1988. — **36**, № 2. — P. 153–163.
8. Pla V., Casares-Giner V. A spectral-based analysis of priority channel assignment schemes in mobile cellular communication systems // Int. J. of Wireless Information networks. — 2005. — **12**, № 2. — P. 87–99.
9. Меликов А.З., Велибеков А.М. Расчет характеристик смешанной системы обслуживания с резервированием каналов // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2008. — № 3. — С. 66–77.

Поступила 29.11.2007

МЕТОД ЛИНЕАРИЗАЦИИ И НЕГЛАДКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ

Э.И. НЕНАХОВ, Л.А. СОБОЛЕНКО

Рассматриваются две модификации нестандартного применения метода линеаризации к решению негладких оптимизационных задач. На основе модификации для задач обратно-выпуклого программирования разработан пакет прикладных программ Packing. Показана эффективность работы пакета и этой модификации на примерах различных задач упаковки и размещения объектов.

ВВЕДЕНИЕ

Метод линеаризации [1], используемый на протяжении многих лет, показал себя как один из самых эффективных методов решения общих задач математического программирования. При этом главным требованием к функциям, описывающим оптимизационную задачу, является их гладкость. Однако идеи, положенные в основу метода линеаризации, могут быть успешно использованы при решении многих других задач, которые не вкладываются в его первоначальную схему. Хотя метод создан для решения гладких задач оптимизации, он сразу нашел применение к решению некоторых минимаксных задач.

Для решения общей задачи выпуклого программирования в [2] разработан комбинированный метод, основанный на идеях трех методов: линеаризации, отсечения и точных штрафных функций. Комбинированный метод сходится при общих предположениях и позволяет оценить множители Лагранжа. При его модификации отбрасываются несущественные для решения задачи ограничения, что позволяет значительно уменьшить размерность решаемой на каждой итерации вспомогательной квадратичной задачи. Стабилизация штрафного коэффициента — основа быстрой сходимости построенных алгоритмов.

Комбинированный метод решения общей задачи выпуклого программирования с негладкими функциями показал свою эффективность на сложных тестовых задачах и достаточную конкурентоспособность по сравнению с другими методами оптимизации [2].

Еще одним классом негладких оптимизационных задач являются задачи обратно-выпуклого программирования. Эти задачи — многоэкстремальные. В работе [3] предложена эффективная модификация метода линеаризации для отыскания локальных экстремумов общей задачи обратно-

выпуклого программирования. Ответить на вопрос, является ли полученное решение глобальным экстремумом, в общей постановке крайне сложно. Однако численные результаты показали, что при решении отдельных конкретных задач получение глобального экстремума небезуспешно.

В общую схему задачи обратно-выпуклого программирования вкладываются многие формализованные математические модели задач упаковки и размещения различных объектов в пространстве R^n . Эти задачи широко применяются. Поэтому так велик к ним интерес многих специалистов, в том числе работающих в области численных методов оптимизации. В отличие от традиционных методов классической математики решения этих задач [4,5] при численном их решении появляется возможность значительно увеличивать размерности задач и снимать многие ограничения на формы и размеры объектов.

Существуют различные подходы к численному решению таких задач. Часто рассматриваются и решаются отдельные конкретные задачи упаковки [6–8]. В данной работе используется подход, основанный на формулировке проблемы упаковки в виде общей оптимизационной задачи обратно-выпуклого программирования и решении ее модифицированным методом линеаризации [3]. На основе этого метода разработан и реализован графический пакет программ Packing [9], с помощью которого пользователь имеет возможность, легко изменяя начальные положения рассматриваемых объектов, получать различные локальные решения и выбирать из них наилучшее. Удобная интерактивная среда Packing предоставляет в распоряжение пользователя не только численные результаты, но и визуальные изображения положений объектов (параллелепипедов, шаров и т. п.) в двумерном и трехмерном пространствах. Для пространств R^n , где $n > 3$, предоставляются только численные результаты.

Объем публикации не позволяет описать все множество решенных задач. Для наглядности графического представления в работе не приводятся примеры задач для пространств R^n , где $n > 3$. Представлены лишь несколько задач, которые показались авторам интересными.

КОМБИНИРОВАННЫЙ МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ВЫПУКЛОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Рассмотрим задачу

$$\min_x \{f(x) \mid f_j(x) \leq 0; j = 1, \dots, m; x \in M\}, \quad (1)$$

где $x \in R^n$, $f(x)$ и $f_j(x)$, $j = 1, \dots, m$ — выпуклые непрерывные функции; M — выпуклый многогранник. Через x^* обозначим решение задачи (1). При выполнении условия Слейтера x^* множители Лагранжа задачи (1) u_j , $j = 1, \dots, m$, существуют.

Для произвольной выпуклой функции $f(x)$ ее субдифференциал в точке x существует. Обозначим его $\partial f(x)$. Элементы выпуклого компактного множества $\partial f(x)$ обозначим $f'(x)$. Предположим в дальнейшем, что

выбрано правило, которое ставит в соответствие точке x элемент $f'(x) \in \partial f(x)$. Исследуемые алгоритмы могут отличаться правилом выбора $f'(x)$, что влияет на эффективность конкретной реализации алгоритма, но от этого не зависит его сходимости.

Если определить выпуклую функцию $\phi(x) = \max_j f_j(x)$, то задача (1) эквивалентна задаче

$$\min_x \{f(x) \mid \phi(x) \leq 0; x \in M\}. \quad (2)$$

Введем штрафную функцию $\Phi_N(x) = f(x) + N \max\{0, \phi(x)\}$, $N > 0$.

Лемма. Если число N достаточно велико, $N > \sum_{j=1}^m u_j$, то задачи (1),

(2) и

$$\min_x \{\Phi_N(x) \mid x \in M\} = \min_{x, \xi_1, \xi_2} \{\xi_1 + N\xi_2 \mid f(x) \leq \xi_1, \phi(x) \leq \xi_2, \xi_2 \geq 0; x \in M\} \quad (3)$$

эквивалентны. Решение задачи (3) есть x^* , $\xi_1^* = f(x^*)$, $\xi_2^* = 0$.

Опишем алгоритм решения задачи (1). Пусть заданы исходная точка $x_1 \in M$ и число $N > 0$, а исходный массив X_1 состоит из единственной точки x_1 .

Если массив X_k и число N_k построены, то массив X_{k+1} и число N_{k+1} определяются по такому правилу. Вычисляем \bar{x}_k из условия $\min \{\Phi_{N_k}(x_i) \mid x_i \in X_k\}$. Полагаем $N = N_k$ и решаем вспомогательную задачу квадратичного программирования в пространстве R^{n+2}

$$\min_{x, \xi_1, \xi_2} \frac{1}{2} \|x - \bar{x}_k\|^2 + \xi_1 + N\xi_2, \quad (4)$$

$$f(x_i) + (f'(x_i), x - x_i) \leq \xi_1, \quad i = 1, \dots, k,$$

$$\phi(x_i) + (\phi'(x_i), x - x_i) \leq \xi_2, \quad i = 1, \dots, k, \quad \xi_2 \geq 0, \quad x \in M.$$

Здесь и далее $\|\cdot\|$ означает евклидову норму вектора, а (\cdot, \cdot) скалярное произведение двух векторов. Полагаем $X_{k+1} = X_k \cup \{x_{k+1}\}$,

$$N_{k+1} = \begin{cases} N_k, & \text{если } \xi_2^k = 0, \\ 2N_k, & \text{если } \xi_2^k > 0, \end{cases}$$

где x_{k+1} , ξ_1^k , ξ_2^k — решение задачи (4).

Начиная с некоторого достаточно большого номера k , N_k будет константой N и $\xi_2^k = 0$.

Кроме того, справедливо равенство

$$\lim_{k \rightarrow \infty} [\Phi_N(x_k) - (\xi_1^k + N\xi_2^k)] = 0.$$

Отсюда, для вектора $p_k = x_{k+1} - \bar{x}_k$ выполняется $\lim_{k \rightarrow \infty} \|p_k\| = 0$. В предельной точке последовательности $\{x_k\} \subset M$ выполняются необходимые и

достаточные условия экстремума, а критерием останова итерационного процесса является $\|p_k\| \leq \varepsilon$, $\varepsilon > 0$ [2].

Комбинированный метод может привести к большому накоплению информации, т.е. к неограниченному росту точек массива X_k . Некоторые из этих точек не играют роли в окончательном процессе нахождения решения задачи. Поэтому предлагается процедура отбрасывания несущественных для решения ограничений, которая позволяет существенно уменьшить размерность решаемой на каждой итерации квадратичной задачи (4).

Если для точки $x_i \in X_k$ выполняется неравенство

$$f(x_i) + (f'(x_i), x_{k+1} - x_i) \leq \xi_1^k - \delta \|p_k\|^2, \quad \delta > 0,$$

то при решении задачи (4) на всех последующих итерациях соответствующее ограничение в ней отбрасывается. Если же выполняется неравенство

$$\phi(x_i) + (\phi'(x_i), x_{k+1} - x_i) \leq \xi_2^k - \delta \|p_k\|^2, \quad \delta > 0,$$

то аналогично отбрасывается соответствующее ограничение в задаче (4). Но неравенства, соответствующие точкам x_{k+1} и \bar{x}_k , всегда участвуют в решении вспомогательной задачи.

Построенный комбинированный метод, в отличие от хорошо известных методов решения гладких задач, не содержит выбора шагового множителя вдоль направления спуска.

МЕТОД РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ОБРАТНО-ВЫПУКЛОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Рассмотрим задачу

$$\max_x \{f_0(x) \mid f_i(x) \geq 0, \quad i = 1, \dots, m\}, \quad (5)$$

где $x \in R^n$, $f_i(x)$, $i = 0, 1, \dots, m$ — выпуклые непрерывные функции. Несмотря на то, что функции $f_i(x)$ выпуклы, задача (5) не является выпуклой в обычном понимании, и нельзя утверждать о единственности ее решения. Она многоэкстремальная.

Пусть $D = \{x : f_i(x) \geq 0, \quad i = 1, \dots, m\}$ — допустимое множество задачи (5). Предположим, что начальная точка $x_0 \in D$. Если точка x_k уже построена, то новая точка вычисляется так:

$$x_{k+1} = x_k + p_k. \quad (6)$$

Вектор $p_k = p(x_k)$ определяет направление движения в итерационном процессе и является решением следующей задачи квадратичного программирования:

$$\min_{p \in R^n} \left\{ -(f_0'(x_k), p) + \frac{1}{2} \|p\|^2 \mid (f_i'(x_k), p) + f_i(x_k) \geq 0, \quad i = 1, \dots, m \right\}. \quad (7)$$

Существенно, что шаговый множитель в направлении движения не вычисляется, а сразу полагается равным 1.

В работе [3] доказано, что все точки итерационной последовательности (6) $x_k \in D, k=1, \dots$. В каждой из них вспомогательная задача (7) имеет единственное решение $p(x_k)$. При $k \rightarrow \infty, \|p_k\| \rightarrow 0$ и в любой предельной точке последовательности (6) выполняются необходимые условия экстремума и ограничения задачи (5). На основе этих утверждений итерационный процесс (6) останавливается, когда $\|p_k\| \leq \varepsilon$, где ε — заданная точность решения исходной задачи (5).

Пусть $u^i(x_k), i=1, \dots, m$ — множители Лагранжа, соответствующие вспомогательной задаче (7). Они являются решением задачи, двойственной к задаче (7).

$$\min_{u \in R^m} \left\{ -\frac{1}{2} \left\| f'_i(x_k) + \sum_{i=1}^m u^i f'_i(x_k) \right\|^2 + \sum_{i=1}^m u^i f_i(x_k) \mid u^i \geq 0, i=1, \dots, m \right\}. \quad (8)$$

Решения задач (7) и (8) связаны соотношением

$$p(x_k) = f'_0(x_k) + \sum_{i=1}^m u^i(x_k) f'_i(x_k). \quad (9)$$

Задача (8) приводится к виду

$$\min_{u \in R^m} \left\{ \phi(u) \mid u^i \geq 0, i=1, \dots, m \right\}, \quad (10)$$

где $\phi(u) = -\frac{1}{2}(u, Cu) + (d, u)$; C — $m \times m$ -симметричная матрица с элементами $c_{i,j} = (f'_i(x_k))^T f'_j(x_k), i, j=1, \dots, m$, а компоненты вектора d определяются соотношением $d^i = -(f'_0(x_k))^T f'_i(x_k) + f_i(x_k), i=1, \dots, m$. Здесь и далее в формулах буква T вверху означает знак транспонирования.

Очевидно, что задача (10) имеет более простые ограничения по сравнению с задачей (7). Поэтому в рассматриваемом пакете программ решается задача (10), а вектор направления p_k вычисляется по формуле (9).

Метод решения задачи (10), реализованный в Packing, подробно описан в работе [10]. Это конечный метод, который относится к методам активного набора. Очень кратко суть его состоит в следующем.

Пусть $J = \{i=1, \dots, m \mid u^i \geq 0\}$ — индексное множество ограничений задачи (10), а $I = \{i \in J \mid u^i = 0\}$ — множество ее активных ограничений в текущей точке.

Опишем кратко действия на одной итерации, начиная с допустимой точки $u_0^i \geq 0, i \in J$. Вычисляем $I(u_0)$ и градиент $\phi'(u_0)$. Если $\frac{\partial \phi(u_0)}{\partial u^i} \geq 0$, для всех $i \in I(u_0)$, а $\frac{\partial \phi(u_0)}{\partial u^i} = 0$ для всех $i \notin I(u_0)$, то u_0 — решение задачи, так как выполняются необходимые и достаточные условия минимума задачи (10). Если для какого-то индекса $i \in I(u_0), \frac{\partial \phi(u_0)}{\partial u^i} < 0$ либо суще-

ствуют индексы, для которых $\frac{\partial \phi(u_0)}{\partial u^i} \neq 0$, $i \in I(u_0)$, то определяется множество $I' = \left\{ i \in I(u_0) \mid \frac{\partial \phi}{\partial u^i} \geq 0 \right\}$.

Удерживая нулевыми компоненты вектора u_0 по $i \in I'$, применяем известный метод сопряженных градиентов по остальным компонентам этого вектора. При этом контролируется величина шагового множителя в направлении метода сопряженных градиентов, чтобы новая точка оставалась допустимой. Через конечное число шагов будет найдена точка u_{k+1} такая, что в ней $\phi(u)$ достигает минимума при условии $u^i = 0$, $i \in I'$, либо новая допустимая точка, для которой $I(u_{k+1}) \supset I'$. В обоих случаях точка u_{k+1} считается начальной, и процесс повторяется.

ПРИМЕРЫ ЗАДАЧ

Все представленные в работе задачи решены с использованием пакета программ Packing. С помощью меню, системы окон и панели инструментов пакета пользователь указывает тип задачи, который определяется ее формализованной математической моделью, задает начальное положение рассматриваемых объектов и указывает их размеры. Некоторые начальные данные, например, размеры и начальное положение искомого оптимального объекта пакет устанавливает сам по умолчанию. Эти данные пользователь может отредактировать или оставить, если они для него приемлемы. При этом автоматически происходит графическое отображение объектов на экране компьютера. Затем по указанию пользователя пакет решает задачу. Численные результаты решения поступают в выходной файл пакета, а графическое изображение решения задачи отображается на экране компьютера. При описании задач здесь для графического представления результатов решения будем использовать средства Packing.

1. Задача определения шара наименьшего радиуса, объемлющего заданные шары различных радиусов. Пусть имеется m шаров $S_{r_i}(x_i)$, $i = 1, \dots, m$, с центрами $x_i \in R^n$ и радиусами r_i . Требуется найти шар наименьшего радиуса, объемлющий данные шары. Если R — искомый радиус объемлющего шара, а x — его неизвестный центр, то формально задачу можно записать так:

$$\min_{R, x, x_i} \begin{cases} R \mid \|x_i - x_j\| \geq r_i + r_j, & i < j, \quad i, j = 1, \dots, m, \\ \|x_i - x\| \leq R - r_i, & i = 1, \dots, m. \end{cases} \quad (11)$$

Здесь первые C_m^2 (число сочетаний из m по 2) ограничений задачи представляют условие не пересечения заданных шаров, а вторая группа из m ограничений — условие не выхода заданных шаров за границы искомого шара.

В результате решения задачи (11) мы должны получить значения координат центров оптимального расположения упаковываемых шаров, координаты центра и радиус объемлющего шара. Отсюда и из (8) видно, что размерности задачи определяются по следующим формулам: число неизвестных равно $n_1 = n + 1 + m \times n$, число ограничений — $m_1 = C_m^2 + m$.

Рассмотрим сначала плоский случай в пространстве R^2 . Пусть дано девять кругов одинакового радиуса и один круг, радиус которого в два раза больше. Нужно найти круг минимального радиуса, объемлющий эти круги. Следовательно, задача имеет 23 неизвестных и 55 ограничений. Пусть радиус седьмого круга равен 1, а для остальных кругов $r_i = 0,5$; $i = 1...6, 8...10$. Числовые значения координат центров кругов в начальном положении и в решении приведены в табл. 1.

Таблица 1. Центры кругов в начальном положении и в точках решения

Номер круга	x_0^1	x_0^2	x_*^1	x_*^2
0	0	0	3,17	3,91
1	1	3	1,70	3,61
2	3	2	3,15	2,41
3	3	6	2,73	5,34
4	5	4	4,65	3,66
5	6	1	4,11	2,74

Номер круга	x_0^1	x_0^2	x_*^1	x_*^2
6	7	7	4,48	4,64
7	3	4	3,17	3,91
8	4	8	3,73	5,30
9	2	6	1,92	4,74
10	1	2	2,21	2,75

В табл. 1 нулевой номер определен для внешнего круга, а дальше идут номера упаковываемых кругов. Для координаты x^i нижний индекс 0 дан для начальных данных, а «*» — для результатов решения. Этот принцип заполнения таблиц будет сохранен и при описании остальных задач. Начальное значение для радиуса объемлющего круга Packing установил $R_0 = 10,40$. Это значение R_0 вполне допустимо, так как все круги в начальном положении оказываются

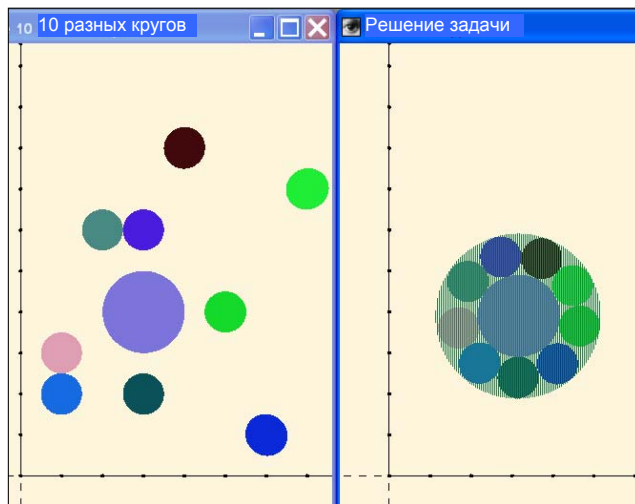


Рис. 1. Упаковка 10-ти кругов разных радиусов в круг минимального радиуса

внутри объемлющего круга. Таким образом, предположение в алгоритме $x_0 \in D$ удовлетворяется. Графические отображения кругов в начальном положении и положение кругов в точках решения, данные пакетом, показаны на рис. 1. Начальное положение — левая часть рисунка, правая — положение кругов в решении. Здесь внешний объект (в данном случае круг) по ука-

занию пользователя отображается только справа. Внешний объект Packing всегда подается сероватым прозрачным фоном. Радиус наименьшего круга, объемлющего данные круги, $R_* = 2,00$. Из рис. 1 очевидно, что получено оптимальное решение с точностью $\|p_k\| \leq 0,5 \cdot 10^{-2}$ на 26-й итерации.

Приведем пример упаковки 21-го шара одинакового радиуса в шар наименьшего радиуса в трехмерном пространстве. Размерности этой задачи следующие: число неизвестных — 67, ограничений — 231. Пусть радиусы шаров $r_i, i=1, \dots, 21$ равны 0,5, а начальное значение радиуса искомого шара R_0 равно 12,71. Числовые значения координат центров шаров в начальном положении и в решении приведены в табл. 2.

Таблица 2. Центры шаров в начальном положении и в точках решения

Номер шара	x_0^1	x_0^2	x_0^3	x_*^1	x_*^2	x_*^3
0	0	0	0	2,58	3,23	2,04
1	2	2	5	2,55	2,37	2,94
2	3	6	1	2,24	4,40	1,83
3	2	4	6	2,00	3,18	3,13
4	6	5	6	3,00	3,22	3,21
5	7	3	2	3,56	2,58	1,61
6	6	7	2	2,88	4,04	1,15
7	8	7	6	3,67	3,56	2,55
8	6	4	4	3,47	2,58	2,61
9	5	7	5	3,21	4,30	2,06
10	7	6	3	3,67	3,57	1,55

Номер шара	x_0^1	x_0^2	x_0^3	x_*^1	x_*^2	x_*^3
11	4	4	3	2,76	3,26	2,24
12	3	7	5	1,74	3,97	2,57
13	5	6	5	2,68	4,12	2,90
14	-3	3	2	1,39	3,06	2,35
15	3	0	0	2,86	2,01	2,05
16	0	5	0	1,53	3,76	1,63
17	3	3	0	3,08	3,09	0,90
18	-2	-3	-3	2,48	2,33	1,18
19	-3	0	-5	2,14	3,43	0,89
20	0	-3	4	1,89	2,20	2,20
21	0	-3	4	1,61	2,76	1,42

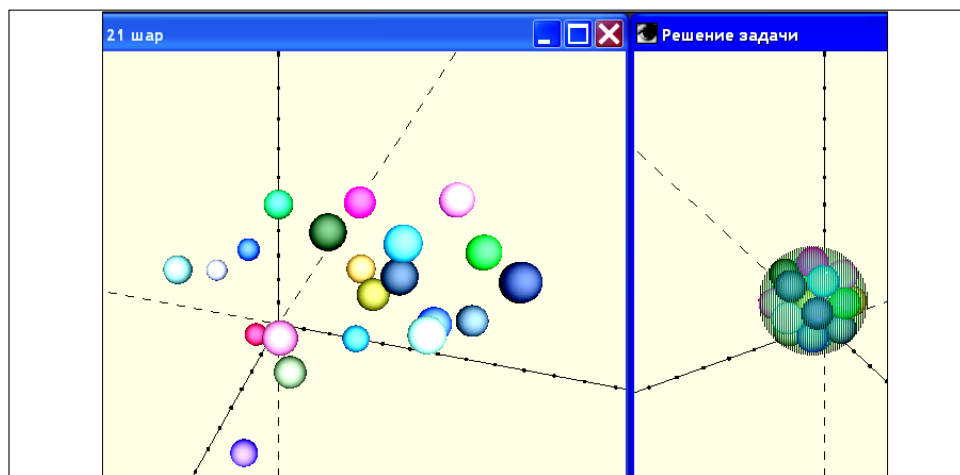


Рис. 2. Упаковка 21-го шара в шар минимального радиуса

На рис. 2 дано графическое отображение шаров: слева — начальное положение, справа — положение шаров в решении и объемлющий их шар. Радиус объемлющего шара $R_* = 1,74$. Число итераций, используемых мето-

дом, — 194. На рисунке видно, что внешний шар очень плотно объемлет заданные шары.

2. Задача упаковки шаров в параллелепипед с минимальной суммой сторон. Требуется упаковать шары $S_{r_i}(x_i)$, $i=1, \dots, m$, с центрами $x_i \in R^n$ и радиусами r_i в параллелепипед, сумма сторон которого минимальна. Если неизвестные стороны параллелепипеда обозначить ξ^k , $k=1, \dots, n$, то формально задача сведется к оптимизационной задаче

$$\min_{\xi^k, x_i} \left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^m \xi^k \left\| x_i - x_j \right\| \geq r_i + r_j, \quad i < j, \quad i, j = 1, \dots, m, \\ r_i \leq x_i^k \leq \xi^k - r_i, \quad i = 1, \dots, m, \quad k = 1, \dots, n. \end{array} \right\}. \quad (12)$$

Здесь формулы для определения размерностей задачи имеют вид $n_1 = n + m \times n$, $m_1 = C_m^2 + 2m \times n$.

Эту задачу рассмотрим на примере упаковки 16-ти кругов одинакового радиуса в прямоугольник с минимальной суммой сторон. Тогда $n_1 = 34$, $m_1 = 184$. Пусть радиусы r_i , $i=1, \dots, 16$, заданных кругов равны 0,5, а начальные значения для сторон прямоугольника, в который упаковываются шары, $\xi_0^1 = 25$, $\xi_0^2 = 26$. Координаты центров начального расположения заданных 16-ти кругов x_0^i , $i=1, 2$, и их координаты в решении x_*^i , $i=1, 2$, приведены в табл. 3.

Таблица 3. Центры кругов в начальном положении и в точках решения

Номер круга	x_0^1	x_0^2	x_*^1	x_*^2
1	7	1	3,5	1,5
2	3	8	1,5	3,5
3	1	10	0,5	3,5
4	2	2	1,5	0,5
5	4	3	2,5	2,5
6	6	3	3,5	3,5
7	4	2	2,5	1,5
8	5	1	2,5	0,5

Номер круга	x_0^1	x_0^2	x_*^1	x_*^2
9	9	0	3,5	0,5
10	3	6	1,5	2,5
11	4	4	2,5	3,5
12	0,5	0,5	0,5	0,5
13	9	2,5	3,5	2,5
14	1	6	0,5	2,5
15	1	4	0,5	1,5
16	3	5	1,5	1,5

Размеры полученного прямоугольника с минимальной суммой сторон, содержащего заданные круги, такие: $\xi_*^1 = 4,0$, $\xi_*^2 = 4,0$. Для получения этого решения с заданной точностью $\varepsilon = 0,01$ описанному методу решения задачи обратно-выпуклого программирования потребовалось выполнить 61 итерацию. Графическое отображение начала и окончания итерационного процесса (6), (7) дано на рис. 3. В левой части рисунка изображены круги в начальном положении, справа — круги в точках решения и полученный оптимальный прямоугольник, в который они упакованы.

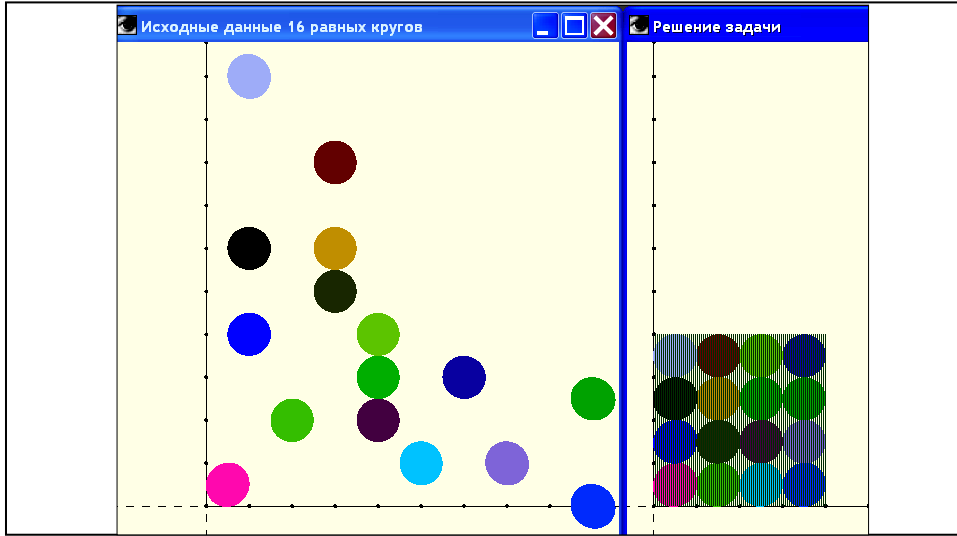


Рис. 3. Упаковка 16-ти кругов в параллелепипед с минимальной суммой сторон

3. Задача оптимальной упаковки параллелепипедов. Пусть параллелепипед в пространстве R^n задается с помощью центра $x \in R^n$ и вектора полуосей $a \in R^n$, т.е. параллелепипед $C_a(x)$ определен системой неравенств

$$C_a(x) = \{y \in R^n \mid \|y^i - x^i\| \leq a^i, \quad i = 1, \dots, n\}. \quad (13)$$

Рассмотрим непересекающиеся параллелепипеды. Чтобы выразить условие не пересечения двух параллелепипедов $C_a(x)$ и $C_b(y)$, $x, y \in R^n$, в работе [11] введено понятие квазирасстояния с помощью функции

$$\rho_\varepsilon(C_a(x), C_b(y)) = \sum_{k=1}^n f_\varepsilon(|x^k - y^k| - (a^k + b^k)). \quad (14)$$

Если обозначить $t = |x^k - y^k| - (a^k + b^k)$, то $f_\varepsilon(t) = \begin{cases} t, & t \geq 0, \\ \varepsilon t, & t < 0, \end{cases}$ $\varepsilon \in (0, 1)$. Два параллелепипеда $C_a(x)$ и $C_b(y)$ не пересекаются, когда $\rho_\varepsilon(C_a(x), C_b(y)) \geq 0$.

При фиксированных значениях a и b $\rho_\varepsilon(x, y) = \rho_\varepsilon(C_a(x), C_b(y))$ является выпуклой положительно однородной функцией аргументов x, y . Следовательно, можно найти ее субградиенты.

Сформулируем задачу оптимальной упаковки параллелепипедов.

Пусть имеется m непересекающихся параллелепипедов $C_{a_j}(x_j)$, $j = 1, \dots, m$, и контейнер $C_A = \{y \in R^n : 0 < y^k \leq A^k, \quad k = 1, \dots, n\}$, в который их нужно уложить. Здесь A^k — компоненты вектора $A \in R^n$, определяющего размеры контейнера. Предполагается, что параллелепипеды можно перемещать только параллельным сдвигом. Обозначим ξ^k , $k = 1, \dots, n$, величины

выхода параллелепипедов за границу контейнера по каждой из сторон A^k , $k=1, \dots, n$. Тогда получим следующую оптимизационную задачу:

$$\min_{\xi^k, x_i} \left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^n \xi^k + \sum_{k=1}^n f_{\varepsilon}(|x_i^k - x_j^k| - (a_i^k + a_j^k)) \geq 0, \quad i < j, \quad i, j = 1, \dots, m, \\ x_i^k - a_i^k \geq 0, \quad i = 1, \dots, m, \quad k = 1, \dots, n, \\ x_i^k + a_i^k \leq A^k + \xi^k, \quad i = 1, \dots, m, \quad k = 1, \dots, n. \end{array} \right. \quad (15)$$

Замечание. Из формул (15) следует, что для величин ξ^k , $k=1, \dots, n$, допускаются как положительные, так и отрицательные значения. Это позволяет не только найти центры оптимальной укладки параллелепипедов, но и размеры самого контейнера, если они неизвестны. Для этого достаточно задать значения A^k , $k=1, \dots, n$, произвольно, а затем, решив задачу, скорректировать их на основе полученных значений ξ^k , $k=1, \dots, n$.

Размерности задачи (15) определяются по формулам $n_1 = n + m \times n$, а число ограничений $m_1 = C_m^2 + 2m \times n$.

В качестве примера рассмотрим задачу в трехмерном пространстве. Пусть задан контейнер следующих размеров: $A^1 = 3$, $A^2 = 2$, $A^3 = 3$ и 10 непересекающихся параллелепипедов различной формы и ориентации. Размеры параллелепипедов и координаты их центров в начальном положении указаны в табл. 4, соответствующие функции ρ_{ε} положительны. Их нужно уложить в контейнер таким образом, чтобы сумма величин, обозначающих нарушение границ контейнера, была минимальной.

Таблица 4. Размеры параллелепипедов и их центры в начальном положении

Номер паралл.	x_0^1	x_0^2	x_0^3	a^1	a^2	a^3
1	3	3	4	0,5	1	0,5
2	6	3	5	0,5	1	0,5
3	5	2	1	1	0,5	0,5
4	6	4	3,5	0,5	0,5	0,5
5	6	4	0,5	0,5	0,5	0,5

Номер паралл.	x_0^1	x_0^2	x_0^3	a^1	a^2	a^3
6	4	5	0	1	1	0,5
7	6	0	0	0,5	0,5	0,5
8	1,5	1	5	0,5	1	0,5
9	2	2	2	0,5	1	0,5
10	4	4	2	0,5	0,5	0,5

Решение на рис. 4 справа получено с точностью $\|p_k\| \leq 0,009$ на 32-й итерации алгоритма (6), (7). При этом пакету программ Packing дано задание изображать внешний объект (в данном случае контейнер). В левой части рис. 4 виден контейнер и параллелепипеды в начальном положении. Вначале ни один параллелепипед полностью не расположен внутри контейнера. Следовательно, условие $x_0 \in D$ не выполнено. Однако это не является препятствием для метода, поскольку в точке x_0 оказалась разрешимой вспомогательная задача (7), и тогда сходимость алгоритма обеспечена [3].

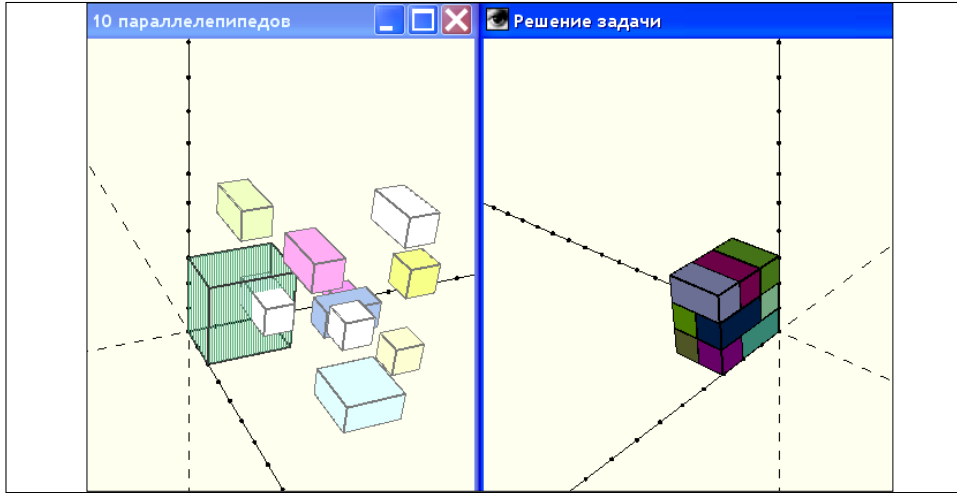


Рис. 4. Упаковка 10-ти разных параллелепипедов в заданный контейнер

В правой части рис. 4 все параллелепипеды находятся внутри контейнера, а $\xi_*^1 = 0,059$; $\xi_*^2 = -0,098$; $\xi_*^3 = 0,106$. Значения координат центров параллелепипедов в решении даны в табл. 5.

Таблица 5. Оптимальные значения координат центров параллелепипедов

Номер паралл.	x_*^1	x_*^2	x_*^3
1	1,53	1,02	2,54
2	2,56	1,02	2,56
3	2,05	0,50	1,52
4	2,56	1,52	1,54
5	2,56	1,52	0,51

Номер паралл.	x_*^1	x_*^2	x_*^3
6	1,04	1,02	0,50
7	2,56	0,50	0,50
8	0,50	1,00	2,56
9	0,51	1,02	1,53
10	1,53	1,52	1,52

4. Задача оптимальной упаковки грузов в самолет. Пусть имеется m грузов для перевозок самолетом. Известны массы грузов m_i , $i = 1, \dots, m$, и центр тяжести самолета, определяемый вектором $x_* \in R^n$. Для обеспечения нормального маневра самолета грузы необходимо уложить в имеющийся в самолете контейнер так, чтобы в результате увеличения нагрузки смещение известного центра тяжести самолета x_* было минимальным.

Предположим, что грузы и контейнер самолета являются параллелепипедами. Совместим начало координатных осей с точкой x_* . Если x_* не совпадает с центром контейнера, то полуоси контейнера не равны между собой. Пусть $A^k \geq 0$, $k = 1, \dots, n$ — полуоси контейнера, которые соответствуют отрицательным осям координат, а $B^k \geq 0$, $k = 1, \dots, n$, положительным. Грузы задаются своими центрами x_i , $i = 1, \dots, m$, и полуосями a_i , $i = 1, \dots, m$, т.е. $S_{a_i}(x_i) = \{y_i \in R^n : |y_i^k - x_i^k| \leq a_i^k, i = 1, \dots, m, k = 1, \dots, n\}$. В пространстве грузы можно перемещать только параллельным сдвигом. Обозначим ξ_i^k ,

$i=1,2, k=1,\dots,n$, величины выхода грузов за границы контейнера по каждой из сторон и введем в рассмотрение вектор α с компонентами, $\alpha^k, k=1,\dots,n$, которые могут принимать значения 0 или 1. Тогда формально задача об упаковке грузов в самолет сводится к следующей оптимизационной задаче:

$$\min_{x_i, \xi_i^k} \left\{ \begin{array}{l} \sum_{k=1}^n (C_1^k \xi_1^k + C_2^k \xi_2^k) + C \sum_{k=1}^n \left(\frac{\sum_{i=1}^m m_i x_i^k}{\sum_{i=1}^m m_i} - x_*^k \right)^2, \\ x_i^k - a_i^k \geq A^k - \alpha^k \xi_1^k, \quad k=1,\dots,n, \quad i=1,\dots,m, \\ x_i^k + a_i^k \leq B^k + \xi_2^k, \quad k=1,\dots,n, \quad i=1,\dots,m, \\ \rho_\varepsilon(S_{a_i}(x_i), S_{a_j}(x_j)) = \sum_{k=1}^n f_\varepsilon(|x_i^k - x_j^k| - (a_i^k + a_j^k)) \geq 0, \\ i < j, \quad i, j=1,\dots,m, \end{array} \right. \quad (16)$$

где $C, C_i^k, i=1,2, k=1,\dots,n$ — весовые коэффициенты. Первые две группы ограничений показывают, что грузы не должны выходить за границы контейнера, а условия не пересечения грузов задаются с помощью функции квазирасстояния $\rho_\varepsilon(x, y) = \rho_\varepsilon(S_a(x), S_b(y))$.

Алгоритм (6), (7) применим для любых $x \in R^n$. Поскольку грузы упаковываются в самолет, то $n=3$. Если начало координатной оси совместить с проекцией x_* на плоскость x^1, x^2 , т.е. в (16) положить $A^n = C_1^n = \alpha^n = 0$, то грузы будут укладываться на пол контейнера вокруг проекции центра тяжести. Размерности задачи (16) определяются по формулам $n_1 = 2n + m \times n, m_1 = 2m \times n + C_m^2$.

В качестве примера рассмотрим задачу упаковки восьми грузов на пол контейнера в самолет типа ИЛ-76. Задача имеет 30 неизвестных и 76 ограничений. Пусть размеры контейнера в данной системе координат будут $A^1 = 9; A^2 = 1,73; A^3 = 0; B^1 = 9; B^2 = 1,73; B^3 = 3,2$. Размеры грузов и значения координат их центров в начальном положении указаны в табл. 6. Координаты центра тяжести $x_* = (0; 0; 1,6)$, массы грузов $m_i, i=1,\dots,m$ имеют значения $m_1 = m_2 = 3, m_3 = m_4 = m_8 = 2, m_5 = 1, m_6 = m_7 = 2,5$. Весовые коэффициенты принимают значения $C_1^3 = 0, C = C_i^k = 1, i, k=1,2$.

Таблица 6. Размеры грузов и их центры в начальном положении

Номер груза	x_0^1	x_0^2	x_0^3	a^1	a^2	a^3
1	-2	-15	-4	5	0,5	0,5
2	-6	-6	4	5	0,5	0,5
3	7	9	-5	4,5	0,5	0,25
4	5	-5	-6	4,5	0,5	0,25

Номер груза	x_0^1	x_0^2	x_0^3	a^1	a^2	a^3
5	5	6	4,5	3	0,5	0,25
6	-6	5	-3	3	0,5	0,25
7	-8	-4	-8	3	0,5	0,25
8	7	-4	6	2	0,5	0,25

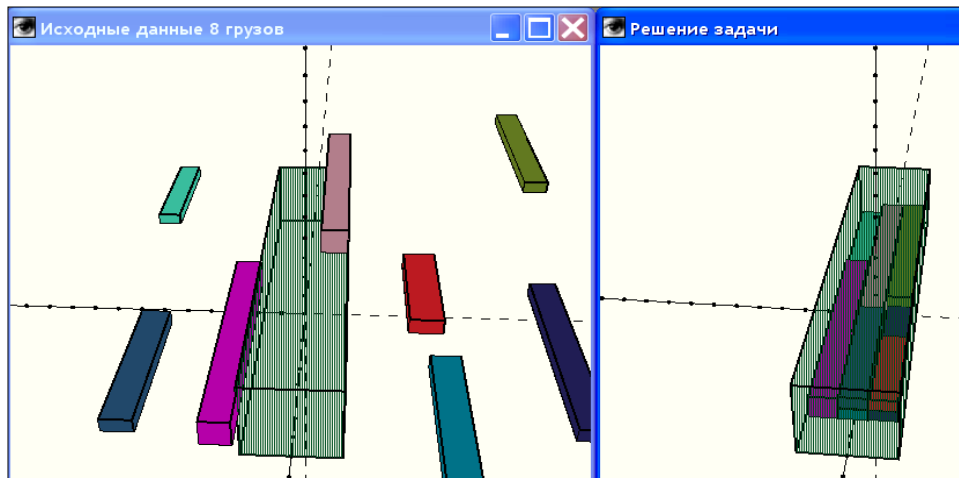


Рис. 5. Размещение 8-ми грузов в контейнер самолета

На рис. 5 дано графическое отображение положения грузов в начале (слева) и в конце (справа) итерационного процесса (6). Видно, что сначала все грузы лежат вне контейнера, а в конце — внутри. Полученные численные результаты также свидетельствуют об этом. В точках решения имеем $\xi_1^1 = -0,051$; $\xi_1^2 = -0,183$; $\xi_1^3 = 0$; $\xi_2^1 = -1,934$; $\xi_2^2 = -0,117$; $\xi_2^3 = -2,130$. То, что $\xi_1^3 = 0$, означает, что грузы упакованы на пол контейнера. Значения остальных ξ_i^k отрицательны, следовательно, все грузы находятся внутри контейнера. Для нормального маневра самолета смещение центра тяжести самолета x_* , соответствующее оси x^3 , не является столь существенным, как смещения по осям x^1 и x^2 . В нашем случае смещение по координате x^1 равно $0,7 \cdot 10^{-6}$, по координате x^2 — $0,3 \cdot 10^{-2}$, по x^3 — $0,485$. Следовательно, упакованные грузы практически не изменили координат центра тяжести самолета по осям x^1, x^2 . Координаты центров грузов в решении задачи приведены в табл.7. Для получения решения с точностью $\|p_k\| \leq 0,2 \cdot 10^{-2}$ алгоритму потребовалось выполнить 109 итераций.

Таблица 7. Координаты центров грузов в точках решения

Номер груза	x_*^1	x_*^2	x_*^3
1	2,07	1,11	0,50
2	-3,95	0,05	0,50
3	2,53	-1,05	0,25
4	-4,45	-1,05	0,78

Номер груза	x_*^1	x_*^2	x_*^3
5	4,07	0,04	0,82
6	4,07	0,02	0,25
7	-5,95	1,13	0,25
8	5,07	-1,05	0,80

ВЫВОДЫ

1. На примерах задач выпуклого и обратно-выпуклого программирования показана возможность использования в негладкой оптимизации извест-

ного метода линеаризации, разработанного Б.Н. Пшеничным для решения гладких оптимизационных задач.

2. Предложен пакет программ Packing для решения задач упаковки и размещения различных объектов в конечномерном пространстве R^n , разработанный на основе формализованных математических моделей задач упаковки и модификации метода линеаризации.

3. Приведены расчеты конкретных задач упаковки и размещения объектов, которые демонстрируют эффективность работы описанной модификации метода линеаризации и разработанного на его основе пакета прикладных программ Packing.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пшеничный Б.Н. Метод линеаризации. — М.: Наука, 1983. — 136 с.
2. Пшеничный Б.Н., Ненахов Э.И., Кузьменко В.Н. Комбинированный метод решения общей задачи выпуклого программирования // Кибернетика и системный анализ. — 1998. — № 4. — С. 121–133.
3. Пшеничный Б.Н., Соболенко Л.А. Метод линеаризации для обратно-выпуклого программирования // Кибернетика и системный анализ. — 1995. — № 6. — С. 86–97.
4. Том Л.Ф. Расположения на плоскости, на сфере и в пространстве. — М.: Физматгиз, 1958. — 363 с.
5. Конвей Дж., Слоэн Н. Упаковка шаров, решетки и группы. — М.: Мир, 1990. — 1,2. — 791 с.
6. Стоян Ю.Г., Придатко Д.И. Упаковка различных круговых цилиндров в параллелепипеде // Доп. НАН України. — 2004. — № 4. — С. 27–32.
7. Pinter J.D. Nonlinear optimization with GAMS/LGO // J. of Global Optimization. — 2007. — 38, № 1. — P. 79–101.
8. Guanglu Zhou, Kim-Chuan Ton, Jie Sun. Efficient Algorithms for the Smallest Enclosing Ball Problem // Computational Optimization and Applications. — 2005. — 30, № 2. — P. 147–160.
9. Соболенко Л.А. Комплекс программ Packing для решения задач упаковки и размещения объектов // Тези доп. 13-ї Міжнар. наук.-техн. конф. — Вінниця, 25–28 вересня 2006 р. — Вінниця, УНІВЕРСУМ. — 2006. — С. 362.
10. Пшеничный Б.Н., Данилин Ю.М. Численные методы в экстремальных задачах. — М.: Наука, 1975. — 320 с.
11. Пшеничный Б.Н., Соболенко Л.А. Метод обратно-выпуклого программирования и укладка параллелепипедов // Кибернетика и системный анализ. — 1996. — № 3. — С.16–26.

Поступила 08.02.2008

МЕТОДОЛОГІЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ТРАНСПОРТНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ ПРИ ОБСЛУГОВУВАННІ ЗЕРНОВИХ ВАНТАЖОПОТОКІВ

Л.М. АБРАМЧУК

Комплексно проаналізовано на прикладі функціонування багатоканальної динамічної системи з кінцевим числом степенів свободи можливість покращення економічних показників транспортної системи при узгодженні інфраструктурних параметрів для обслуговування підприємств елеваторно-складського господарства. Охарактеризовано залежність числового значення логістичних витрат у системі з двома вузлами обслуговування.

За умови стабільного нарощування достатніх для забезпечення внутрішніх потреб та конкурентоспроможних на світовому ринку обсягів зернової продукції необхідно з урахуванням існуючих економічних відносин суттєво підвищити рівень транспортного обслуговування підприємств агропромислового комплексу. Основою такої стратегії може стати система заходів по забезпеченню транспортної галузі ефективним функціонуванням відповідної інфраструктури. Важливе народногосподарське значення організації зазначених процесів пояснюється широким спектром логістичних операцій по обслуговуванню зернових вантажопотоків та достатньо великими обсягами транспортних робіт для забезпечення технологічних, регіональних і експортних поставок. Підвищення вимог до надійності виконання перевезень зернової продукції та економічності транспортного обслуговування створюють складні проблеми математичного аналізу ефективного використання наявної інфраструктури в існуючих виробничих системах.

Підвищення конкурентоспроможності логістичного обслуговування пов'язане, як правило, з удосконаленням інфраструктури транспортних систем, а значить, із додатковим залученням капіталовкладень [1, 2]. В літературі зустрічається велика кількість публікацій із суперечливими висновками, де окремо показані шляхи покращення економічності транспортного обслуговування та удосконалення існуючої або формування нової інфраструктури для обслуговування зернових вантажопотоків [2]. Проте до цього часу недостатньо розроблено теорію визначення оптимальних показників економічності перевезень при взаємодії окремих суб'єктів господарської діяльності в транспортних системах [2, 3], що істотно ускладнює вирішення задач, пов'язаних із особливостями транспортування зернових вантажів, оскільки числове визначення окремих впливаючих факторів є досить складним. Крім того, наявність значної кількості схем перевезення зернових вантажів вимагає типізації існуючих транспортних процесів [4], а комплексне розв'язання зазначених задач передбачає детальне врахування економічних відносин при обґрунтуванні організаційних форм співробітництва між господарськими і транспортними структурами [4, 5].

Інфраструктурне забезпечення перевізного процесу відіграє важливу роль у підтриманні належного функціонування транспортної системи по накопиченню, зберіганню та переміщенню об'єднаної партії зернових вантажів. Саме автотранспортними засобами проводиться первинне накопичення вантажів на елеваторах і, крім того, ними доставляється значна частина врожаю в складські приміщення переробних підприємств з прилеглих регіонів. Особливого значення такі поставки набувають у випадку відсутності вільних місткостей в елеваторно-складських спорудах та при недостатніх потужностях по розвантаженню рухомого складу залізничного транспорту.

На підставі теоретичних досліджень зміни логістичних витрат, як наслідка рівня інфраструктурного забезпечення, актуальною є розробка математичних методів системного аналізу впливаючих чинників для прийняття узгоджених управлінських рішень. З урахуванням специфічних умов формування та переміщення об'єднаної зернової партії зазначені моделі можуть бути застосовані для аналізу перевізних можливостей автотранспортних засобів. Основним критерієм економічності виконання автомобільних перевезень сформованої об'єднаної партії зернових прийнято загальні логістичні витрати (B_3) обслуговування однієї тонни вантажів. У зазначених виробничих структурах загальне зростання вартості логістичних операцій у зв'язку із збільшенням непродуктивних витрат, пов'язаних з простоями рухомого складу, пояснюється збільшенням загальної кількості автотранспортних засобів на маршрутній мережі, а відповідно, і кількості автомобілів в черзі. В той же час при збільшенні продуктивності постів обслуговування час простою автомобілів в черзі зменшується. Тому за умови незмінної чисельності дорожньо-транспортних засобів в системі зростає кількість вільних механізмів розвантаження, що також позначається на збільшенні числового значення B_3 .

Оптимізація технологічних параметрів транспортної інфраструктури в агропромисловому виробництві розглядається стосовно перевезення зернових вантажів на підприємства елеваторно-складського господарства із використанням нових підходів до взаємодії між суб'єктами господарської діяльності. Тому математичний аналіз зміни B_3 такої структури проведено на прикладі функціонування багатоканальної динамічної системи масового обслуговування з двома вузлами. Вхідним потоком λ_1 вимог на перший вузол є прибуття під завантаження порожніх автомобілів. При цьому інтенсивність μ_1 обслуговування загального потоку вимог кожним механізмом визначається середньою кількістю завантажених автомобілів за одиницю часу. Для другого вузла вхідним потоком вимог λ_2 є прибуття для розвантаження автомобілів із зерновими культурами. За аналогією з першим вузлом інтенсивність обслуговування потоку вимог μ_2 в протилежному пункті системи характеризується середньою кількістю автомобілів, розвантажених за одиницю часу. З урахуванням того, що така транспортна система є замкнутою, числові значення вхідних потоків λ_1 і λ_2 стають однаковими, тому в подальших викладках позначені загальною інтенсивністю потоку вимог λ як величиною, обернено пропорційною часу обороту автомобіля на маршруті, тобто $\lambda = f(\mu_1, \mu_2)$.

У зазначеній системі при обслуговуванні порожніх автомобілів зернозавантажувальними машинами і розвантаженням їх на підприємствах елеваторно-складського господарства побудова діаграми інтенсивності переходів ґрунтується на тому, що джерелом вимог є окремі дорожньо-транспортні засоби. Тому стани замкнутої системи S_k ($k = 0, 1, \dots, m_1, m_2, \dots, n$) будуть пов'язані з числом k автомобілів, що по чергово прибувають для обслуговування. Перехід системи із стану S_k в стан S_{k+1} викликається прибуттям одного автомобіля до технологічних механізмів, а перехід між станами S_k і S_{k-1} відбувається, коли автомобіль після обслуговування починає рух у пункт призначення. В такому випадку спостерігається процес

$$\lambda_k = (n - k)\lambda, \quad 0 \leq k \leq m,$$

$$\mu_k = \begin{cases} k\mu, & 0 \leq k \leq m, \\ m\mu, & m+1 \leq k \leq n, \end{cases} \quad (1)$$

де n — загальна кількість автомобілів у системі; m — кількість обслуговуючих механізмів.

Тоді, якщо для першого вузла $k > m_1$, то стан S_k означає, що m_1 автомобілів обслуговуються, а $k - m_1$ знаходяться в черзі. Для другого вузла діаграми інтенсивності переходів замкнутої системи масового обслуговування складаються з урахуванням кількості m_2 постів розвантаження та інтенсивності μ_2 обслуговування в ньому.

Таким чином, у зазначеній системі масового обслуговування граничні ймовірності перебування її в k -х станах розв'язуються із застосуванням системи рівнянь

$$[(n - k_1)\lambda + k_1\mu_1]p_{k_1} = (n - k_1 + 1)\lambda p_{k_1-1} + (k_1 + 1)\mu_1 p_{k_1+1} \quad \text{при } 1 \leq k_1 \leq m_1,$$

$$[(n - k_1)\lambda + m_1\mu_1]p_{k_1} = (n - k_1 + 1)\lambda p_{k_1-1} + m_1\mu_1 p_{k_1+1} \quad \text{при } m_1 + 1 \leq k_1 \leq n, \quad (2)$$

$$[(n - k_2)\lambda + k_2\mu_2]p_{k_2} = (n - k_2 + 1)\lambda p_{k_2-1} + (k_2 + 1)\mu_2 p_{k_2+1} \quad \text{при } 1 \leq k_2 \leq m_2,$$

$$[(n - k_2)\lambda + m_2\mu_2]p_{k_2} = (n - k_2 + 1)\lambda p_{k_2-1} + m_2\mu_2 p_{k_2+1} \quad \text{при } m_2 + 1 \leq k_2 \leq n.$$

Теоретичною передумовою проведення відповідних розрахунків у таких математичних моделях є узагальнена інтенсивність надходження вимог λ на обслуговування. Зазначена величина описується функцією $\lambda = f(l_M, \mu_1, \mu_2)$ довжини маршруту l_M та інтенсивності обслуговування автомобілів μ_1 і μ_2 в обох вузлах і визначається за математичною залежністю

$$\lambda = \frac{1}{\frac{1}{\mu_1} + \frac{l_M}{V_m} + \frac{1}{\mu_2}}. \quad (3)$$

У практичній діяльності при використанні власного парку автомобілів або при залученні для накопичення на зерновому терміналі автотранспортних засобів сторонніх організацій пріоритетним критерієм щодо визначення

комплексу стратегічних рішень є мінімальні загальні логістичні витрати всієї сукупності транспортно-перевантажувальних робіт як функція загальної кількості рухомого складу в системі

$$B_3 = \frac{P_{k1}S_{k1}}{\mu_1q} + S_m + \frac{1}{K_{z1}\mu_1q}(C_1K_{n1} + C_3A_{n1}) + \frac{P_{k2}S_{k2}}{\mu_2q} + \frac{1}{K_{z2}\mu_2q}(C_2K_{n2} + C_3A_{n2}), \quad (4)$$

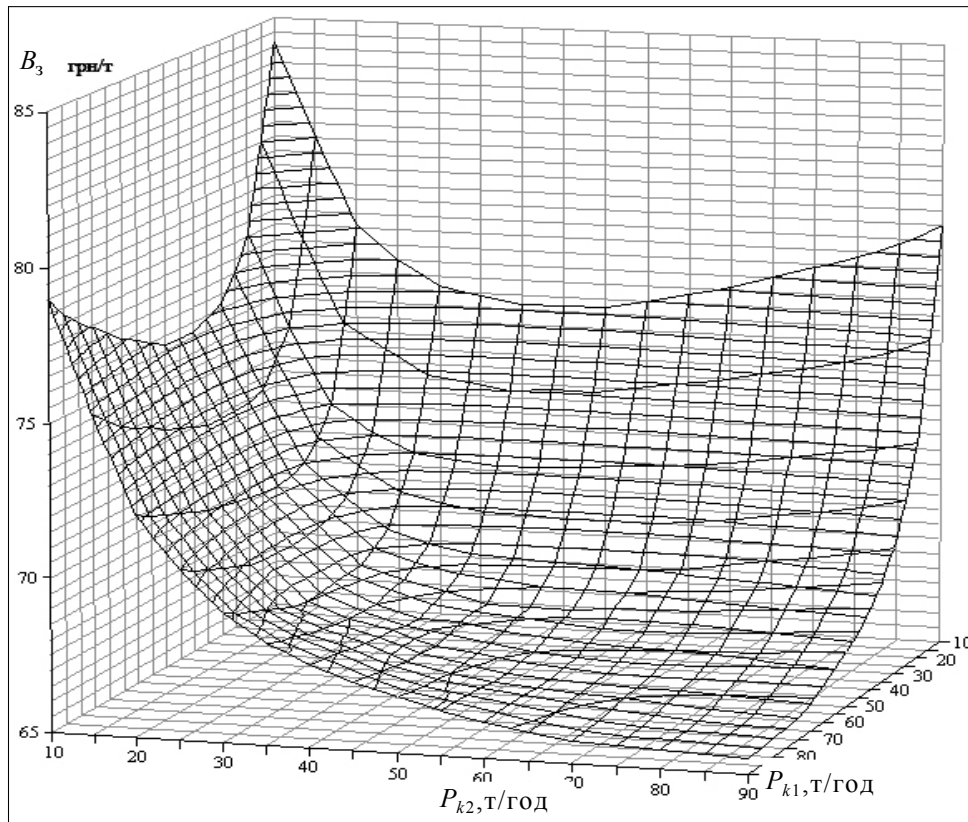
де P_{k1}, P_{k2} — годинна продуктивність відповідно постів навантаження та розвантаження зернових вантажів; S_{k1}, S_{k2} — собівартість виконання відповідно навантажувальних та розвантажувальних робіт; K_{z1}, K_{z2} — кількість зайнятих постів відповідно навантаження та розвантаження автотранспортних засобів; K_{n1}, K_{n2} — кількість постів обслуговування автомобілів, що простоюють, відповідно в пунктах навантаження та розвантаження; A_{n1}, A_{n2} — середня кількість автомобілів в очікуванні обслуговування відповідно біля завантажувальних та розвантажувальних постів; C_1, C_2 — годинна вартість простою механізмів обслуговування відповідно в пунктах навантаження та розвантаження; C_3 — вартість простою автотранспортних засобів.

Попередній аналіз оптимального значення загальних логістичних витрат, розрахованих за математичною залежністю (4), свідчить про те, що величина показника B_3 в значній мірі залежить як від кількості механізмів обслуговування m_1, m_2 , так і від продуктивності P_{k1}, P_{k2} кожного з них. Результати математичного моделювання, проведеного за умови перевезення зернових вантажів автопоїздами КамАЗ-53212 + ГКБ-83512 на відстань їздки з вантажем $l_{в.ї} = 60$ км переконливо свідчать про те, що мінімальне значення B_3 досягається за умови синхронної роботи обслуговуючих механізмів у підприємствах відправлення та приймання зернових культур (рисунок).

Особливістю функціонування транспортної системи з двома вузлами обслуговування є те, що із синхронним зростанням продуктивності технологічних механізмів P_{k1}, P_{k2} результуюча величина B_3 зменшується. Визначена тенденція пояснюється підвищенням пропускної здатності транспортної системи та зменшенням часу простою рухомого складу в пунктах обслуговування. Проте зменшення продуктивності обслуговуючих механізмів у одному із пунктів має значно більший вплив на зростання B_3 , ніж аналогічне збільшення показника P_k на зменшення його числового значення. Така тенденція поведінки оптимального значення витрат B_3 свідчить не стільки про вплив тривалості простоїв механізмів обслуговування, скільки про зменшення інтенсивності використання автотранспортних засобів.

Достовірне і достатньо повне узагальнення закономірностей обслуговування зернових вантажопотоків має важливе значення при вирішенні задач формування раціональної інфраструктури відповідних транспортних систем. Форми і методи обслуговування різноманітних вантажопотоків визначаються, в першу чергу, видами та обсягами поставок. Проте сучасний науковий підхід до аналізу перевезень зернових вантажів з урахуванням на-

явності конкуруючого середовища вимагає диференційованого врахування вимог кожного споживача транспортних послуг. Тому виробничі системи обслуговування підприємств агропромислового комплексу мають вдосконалюватися таким чином, щоб відповідати визначеним загальноприйнятими критеріям якості: виконувати перевезення у фіксовані терміни, забезпечувати певний рівень надійності, бути економічно ефективними і конкурентоспроможними.



Визначення B_3 перевезень зернових вантажів у системі з двома вузлами обслуговування

Для таких перевезень характерними ознаками є невизначеність як у часі, так і в обсягах доставки зернових вантажів за певний період або територіально за місцем його знаходження. Названі параметри можуть бути безпосередньо залежними від технології виконання навантажувально-розвантажувальних операцій та технічного оснащення відповідними елеваторними машинами і механізмами.

Відомо, що переміщення зернових вантажів характеризується широким спектром умов роботи рухомого складу, коли під впливом великої кількості випадкових факторів постає питання ефективного використання наявної інфраструктури. Розробка методів удосконалення таких транспортно-технологічних процесів з урахуванням особливостей функціонування обслуговуючих механізмів має важливе значення через те, що обсяг цих вантажів визначається мільйонами тонн за сезон. Тому економічно дуже важливо зменшити пов'язані з транспортуванням зернових вантажів витрати трудо-

вих, матеріальних і енергетичних ресурсів для зниження собівартості кінцевої продукції.

Важливим чинником зменшення B_3 під час інтенсивного перевезення зернових є виробнича структура транспортної системи, а вплив на його числове значення характеризується кількістю постів обслуговування відвантаження та приймання вантажів. Тому для перевезення зернових культур автопоїздами $q = 20$ т і продуктивності обслуговуючих механізмів $P_{k1} = P_{k2} = 40$ т/год було розраховано числове значення B_3 за умови зміни кількості постів m_1 і m_2 обслуговування (таблиця). Базовою величиною витрат B_3 прийнято розрахункове значення показника за умови мінімальної кількості обслуговуючих постів $m_1 = m_2 = 1$.

Зменшення B_3 для перевезень зернових вантажів за умови зміни кількості постів обслуговування

Відстань перевезення, км	Базове значення B_3 , грн/т	Кількість навантажувально-розвантажувальних механізмів у вузлах обслуговування			
		$m_1 = m_2 = 2$	$m_1 = m_2 = 3$	$m_1 = m_2 = 4$	$m_1 = m_2 = 5$
40	62,79	2,35	3,32	3,88	4,25
45	64,88	2,39	3,38	3,94	4,32
50	66,53	2,43	3,44	4,01	4,40
55	68,29	2,49	3,52	4,11	4,51
60	70,06	2,55	3,61	4,21	4,61
65	71,75	2,57	3,63	4,24	4,65
70	73,45	2,29	3,66	4,28	4,69
75	75,27	2,66	3,74	4,36	4,78
80	77,09	2,73	3,83	4,45	4,87

Як свідчать проведені розрахунки, синхронне збільшення кількості постів обслуговування від $m_1 = m_2 = 1$ до $m_1 = m_2 = 5$ зменшує B_3 від 6,8% для відстані перевезень зернових вантажів $l_{в.і} = 40$ км до 6,3% для $l_{в.і} = 80$ км. Сам процес зменшення витрат B_3 пояснюється підвищенням інтенсивності використання навантажувально-розвантажувальних механізмів та автотранспортних засобів, а відносно зменшення B_3 із збільшенням відстані перевезень $l_{в.і}$ — зростанням впливу транспортної складової у загальній сумі витрат.

Удосконалення складових компонентів транспортних систем агрокомплексу базується на впровадженні передових технологій вирощування зернових культур та проведенні збирально-транспортних робіт, у тому числі засобів обробки та доставки сільськогосподарських вантажів. Визначений рівень продуктивності транспортних систем повинен забезпечувати умови для задоволення потреб населення і суспільного виробництва в перевезеннях. Особливої актуальності зазначене положення набуває для нашої країни як експортної та транзитної держави. Саме тому особлива увага в процесі функціонування транспортних систем приділяється зміцненню матеріально-технічної бази, а важливим аспектом є створення відповідної законодавчої і нормативної бази та чіткий контроль за виконанням норм і законів.

Успішна взаємодія різних видів транспорту можлива лише за умови наявності відповідної інформаційної підтримки. При експортуванні зернових вантажів багаточисельні трейдери, як правило, закупають продукцію невеликими обсягами, відправляють їх залізничними вагонами або автотранспортом на припортові станції або в порти для накопичення об'єднаної судової партії. У результаті таких дій вантажопотоки формуються найчастіше спонтанно і залежать від великої кількості випадкових факторів, а це, в свою чергу, вносить певну хаотичність у роботу транспортників. Проте частково позбутися такого явища можна за допомогою ефективного управління всім процесом переміщення зернових, починаючи від закупки продукції і закінчуючи її доставкою до споживача на основі створення єдиного інформаційного простору. За такої організаційної структури можливості кожного з учасників транспортного ланцюга приймати оптимальні рішення в режимі реального часу будуть значно розширені. Першим кроком в цьому напрямі може бути взаємоузгоджена і економічно вигідна робота інформаційних систем вантажоутворюючих і вантажопоглинаючих масивів та транспортних організацій.

ВИСНОВКИ

Комплексно проаналізовано можливість покращення економічних показників транспортної системи при узгодженні інфраструктурних параметрів на прикладі обслуговування підприємств елеваторно-складського господарства.

Для перевезень зернових вантажів визначено зміну загальних логістичних витрат B_3 для різної кількості постів обслуговування.

Розраховано залежність числового значення показника B_3 як функцію продуктивності навантажувальних механізмів у системі з двома вузлами обслуговування.

ЛІТЕРАТУРА

1. Грицишин М.І., Адамчук В.В. Концептуальні питання відтворення матеріально-технічної бази аграрного сектору економіки України // Вісн. аграрної науки. — 2007. — № 4. — С. 49 – 53.
2. Гайдуцький А.П. Інвестиційна конкурентоспроможність аграрного сектору України. — Київ: Нора-Друк, 2004. — 246 с.
3. Саблук П.Т. Ціноутворення в період ринкового реформування АПК. — Київ: ННЦ ІАЕ УААН, 2006. — 440 с.
4. Миронюк В.П., Курочкин Н.Н. Оптимизация размещения транспортной и складской инфраструктур // Грузовое и пассажирское автохозяйство. — 2006. — № 8. — С. 47 – 50.
5. Левицкий И. Как улучшить координацию работы смежников // Порты Украины. — 2006. — № 2(58). — С. 28 – 30.

Надійшла 23.07.2008

ФРАКТАЛЬНІ «ПОРТРЕТИ» СТРУКТУР КОЛЕКТИВНИХ ЗАЛИШКОВИХ ЗНАНЬ

В.В. ЯСІНСЬКИЙ

Встановлено, що з плином часу колективні знання трансформуються в деяку стійку інформаційну структуру фрактальної конфігурації, яку можна інтерпретувати як деякий фазовий «портрет» структури колективних залишкових знань. Дослідження базується на системному узагальненні результатів багаторічного комплексного моніторингу якості навчального процесу в НТУУ «КПІ».

ВСТУП

Однією з найважливіших задач вищої школи є вивчення закономірностей процесу довгострокового зберігання знань, накопичених студентами під час їх навчання, оскільки саме розуміння природи вторинного (відстроченого) відтворення накопичених знань є невід'ємною складовою побудови такої стратегії підготовки людського капіталу, яка б гарантувала якісні і стійкі залишкові знання протягом достатньо великих проміжків часу [2, 6 – 9].

Відсутність цільової орієнтації сучасних освітніх систем на виклики типу: «Що буде з накопиченими знаннями за далеким часовим горизонтом?», «Якими будуть їх рівень і якість?» т.ін. може мати очевидні негативні наслідки. Адже знання людей, що навчаються, — це продукт, який замовляє суспільство, і його цікавлять не лише інтегральні показники, що характеризують цей продукт на момент сходження з «технологічного конвейера», а й інші, не менш важливі, показники, такі, наприклад, як гарантія якості продукту, термін придатності його до використання і под. Звичайно, пошук відповідей на ці питання лежить в багатьох площинах, але відправною точкою всіх досліджень має бути системне вивчення на основі цілісного підходу самого механізму відстроченого відтворення людиною знань, накопичених нею в процесі цілеспрямованого і організованого навчання.

У даній роботі на основі аналізу результатів періодичного моніторингу якості залишкових знань студентів НТУУ «КПІ» вивчається залежність відтворення якості довгострокового зберігання окремих квантів навчальної інформації, накопиченої великими групами студентів, залежно від місця цих квантів у структурах відповідних інформаційних потоків [7, 8].

ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Залишковими знаннями (частиною структури знань) будемо вважати об'єм інформації, якою володіє індивідуум у певній сфері знань у фіксований момент часу. Залишковими навчальними знаннями — об'єм навчальної інформації, співвіднесений з освітніми стандартами, навчальними планами і програмами, що зберігається в пам'яті студента на фіксований момент часу і реалізується в процесі його професійної діяльності.

Оцінювання міри відтворення студентами накопиченої навчальної інформації визначаємо на основі кваліметричного підходу до вимірювання педагогічних показників [1, 4, 5].

Введемо позначення:

1. $[0; T]$ — проміжок часу, впродовж якого кожному студентові α_i групи $A \triangleq \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_N\}$ в установленому порядку передаються деякі знання (навчальна інформація) $\mathcal{K}(\mathcal{D})$, що відповідають навчальній дисципліні \mathcal{D} .

2. $\omega(0; T) \triangleq \{\tau_i\}_{i=0, \overline{n}} : 0 = \tau_0 < \tau_1 < \dots < \tau_{n-1} < \tau_n = T$.

3. $\mathcal{J}(\tau_{i-1}; \tau_i)$ — квант навчальної інформації $\mathcal{K}(\mathcal{D})$, яка передається на інтервалі часу $[\tau_{i-1}; \tau_i] \subset [0; T]$ кожному студентові $\alpha_i \in A$, $0 \leq \tau_{i-1} < \tau_i \leq T$.

4. $\Phi(\mathcal{K}(\mathcal{D}); \omega([0; T])) \triangleq \{\mathcal{J}(\tau_{i-1}; \tau_i)\}_{i=1, \overline{n}}$ — навчальний інформаційний потік, породжений парою $(\mathcal{K}(\mathcal{D}); \omega(0; T))$.

5. $\sigma_0(\mathcal{J}(\tau_{i-1}, \tau_i))$ — об'єм (міра) кванта навчальної інформації $\mathcal{J}(\tau_{i-1}, \tau_i)$.

6. $\sigma(\tau, \alpha_k, \mathcal{J}(\tau_{i-1}, \tau_i))$ — об'єм (міра) відтвореного кванта $\mathcal{J}(\tau_{i-1}, \tau_i)$ студентом α_k на момент часу $\tau > T$.

7. $\mathbf{w}(\tau, A; \mathcal{J}(\tau_{i-1}, \tau_i)) = \frac{\sum_{k=1}^n \sigma(\tau, \alpha_k; \mathcal{J}(\tau_{i-1}, \tau_i))}{n \sigma_0(\mathcal{J}(\tau_{i-1}, \tau_i))}$ — усереднений коефіцієнт

колективного відтворення кванта $\mathcal{J}(\tau_{i-1}, \tau_i)$ групою студентів A в момент часу $\tau > T$

$$(0 \leq \mathbf{w}(\tau, A; \mathcal{J}(\tau_{i-1}, \tau_i)) \leq 1).$$

Визначимо на $[0; T]$ функцію $P(t; \tau; A; \Phi(\mathcal{K}(\mathcal{D}); \omega(0; T)))$ пріоритетності колективного збереження групою A на момент часу $\tau > T$ квантів інформаційного потоку $\Phi(\mathcal{K}(\mathcal{D}); \omega([0; T]))$ таким чином:

$$P(t; \tau; A; \Phi(\mathcal{K}(\mathcal{D}); \omega(0; T))) = \sum_{i=1}^n \eta(t; \tau; A; \mathcal{J}(\tau_{i-1}, \tau_i)),$$

$$\text{де } \eta(t; \tau; A; \mathcal{J}(\tau_{i-1}, \tau_i)) = \begin{cases} \mathbf{w}(\tau, A; \mathcal{J}(\tau_{i-1}, \tau_i)), & t \in (\tau_{i-1}, \tau_i), \\ 0, & t \notin (\tau_{i-1}, \tau_i). \end{cases}$$

Метою роботи є вивчення функції

$$P(t; \tau; A; \Phi(\mathcal{K}(\mathcal{D}); \omega(0; T)))$$

на основі результатів, отриманих при проведенні системних педагогічних експериментів.

ПЛАНУВАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТУ ТА ЙОГО НАУКОВО-МЕТОДИЧНЕ СУПРОВОДЖЕННЯ

Основною формою проведення системних досліджень природи накопичення та дисипації знань [3] є періодичний моніторинг якості залишкових знань студентів четвертого та п'ятого курсів багатьох спеціальностей НТУУ «КПІ».

Кожного семестру моніторингом охоплюється близько чотирьох тисяч студентів четвертих-п'ятих курсів 139 спеціальностей НТУУ «КПІ».

Сформовано банк завдань кваліметричної діагностики залишкових знань більш ніж із 1200 навчальних дисциплін, представлених блоками фундаментальних, гуманітарних, професійно орієнтованих та фахових дисциплін.

Достовірність основних узагальнень і висновків проведених досліджень забезпечувалась тим, що на всіх етапах отримання та обробки результатів педагогічного експерименту використовувались методи педагогічної кваліметрії, апарат математичної статистики та репрезентативні матеріали, а відбір і структурування діагностичних матеріалів базуються на тезаурусному підході [1, 3–5].

ОСНОВНИЙ РЕЗУЛЬТАТ

Існують такі експериментально стійкі числа $L_0(\cdot)$, $\{t_k^*\}_{k=0,5}$, $\{t_{k,m}^*\}_{m=0,5, k=0,5}$,

інваріантні відносно всіх параметрів досліджуваного процесу:

- 1) $L_0(\cdot) \in (0; \sigma_0(\mathcal{K}(\mathcal{D})))$;
- 2) $0 = t_0^* < t_1^* < \dots < t_4^* < t_5^* = T$;
- 3) $t_{k-1}^* = t_{k,0}^* < t_{k,1}^* < \dots < t_{k,4}^* < t_{k,5}^* = t_k^*$;
- 4) $d(t_0^*, t_1^*) : d(t_1^*, t_2^*) : \dots : d(t_4^*, t_5^*) = d(t_{k,0}^*, t_{k,1}^*) : d(t_{k,1}^*, t_{k,2}^*) : \dots : d(t_{k,4}^*, t_{k,5}^*)$,

що для достатньо великих N і всіх $\tau > \tau^*$ мають місце нерівності

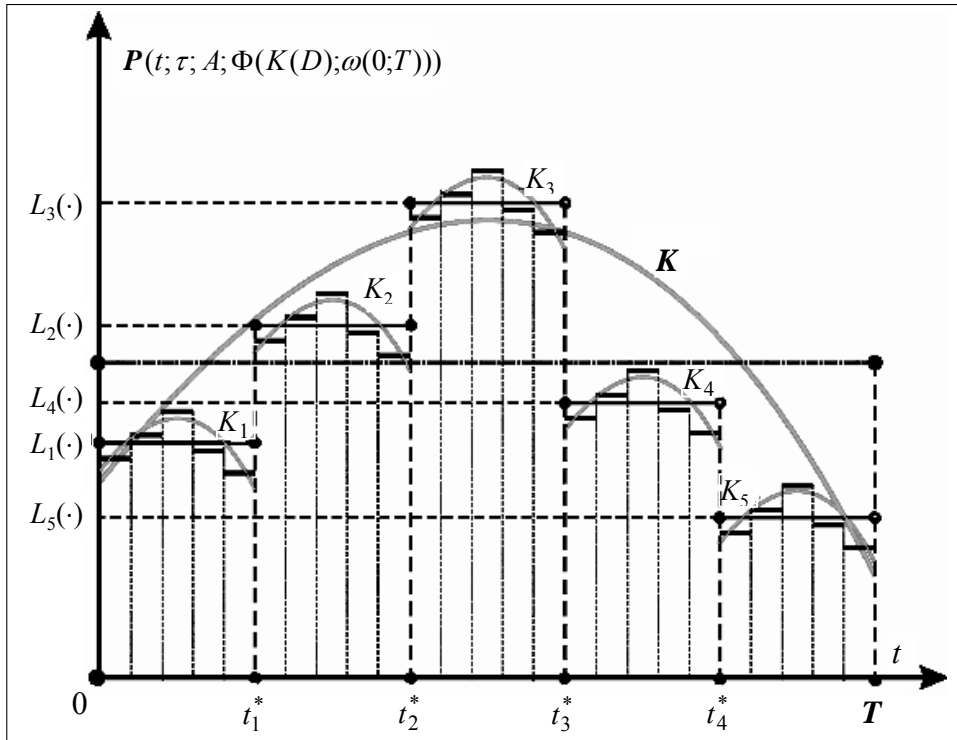
$$\begin{aligned} L_3(\cdot) &= \mathcal{W}(\tau, A; \mathcal{J}(t_2^*, t_3^*)) > L_2(\cdot) = \mathcal{W}(\tau, A; \mathcal{J}(t_1^*, t_2^*)) > L_4(\cdot) = \\ &= \mathcal{W}(\tau, A; \mathcal{J}(t_3^*, t_4^*)) > L_1(\cdot) = \mathcal{W}(\tau, A; \mathcal{J}(t_0^*, t_1^*)) > L_5(\cdot) = \mathcal{W}(\tau, A; \mathcal{J}(t_4^*, t_5^*)), \\ L_{3,k}(\cdot) &= \mathcal{W}(\tau, A; \mathcal{J}(t_{2,k}^*, t_{3,k}^*)) > L_{2,k}(\cdot) = \mathcal{W}(\tau, A; \mathcal{J}(t_{1,k}^*, t_{2,k}^*)) > \\ &> L_{4,k}(\cdot) = \mathcal{W}(\tau, A; \mathcal{J}(t_{3,k}^*, t_{4,k}^*)) > \end{aligned}$$

$$> L_{1,k}(\cdot) = \mathcal{W}(\tau, A; \mathcal{J}(t_{0,k}^*, t_{1,k}^*)) > L_{5,k}(\cdot) = \mathcal{W}(\tau, A; \mathcal{J}(t_{4,k}^*, t_{5,k}^*)), k = \overline{1,5},$$

де $\tau^* : \mathcal{W}(\tau^*, A; \mathcal{K}(\mathcal{D})) = L_0(\cdot)$.

ГЕОМЕТРИЧНА ІНТЕРПРЕТАЦІЯ

Із сказаного вище слідує, що з плином часу колективні знання трансформуються в деяку стійку інформаційну структуру фрактальної конфігурації (рисунки), яку можна інтерпретувати як деякий фазовий «портрет» структури колективних залишкових знань. (Велика \mathcal{K} та малі ($\mathcal{K}_i, i = 1, 2, 3, 4, 5$) хвилі відповідають пріоритетності збереження квантів інформаційного потоку $\Phi(\mathcal{K}(\mathcal{D}); \omega([0; T]))$.)



Схематичне зображення функції $P(t; \tau; A; \Phi(\mathcal{K}(\mathcal{D}); \omega(0; T)))$ в області стійкості ($\tau > \tau^*$) структури колективних залишкових знань

ВИСНОВКИ

1. Пріоритетність довгострокового зберігання інформаційних квантів однозначно визначається їх місцем у відповідному інформаційному потоці.
2. З плином часу колективні знання трансформуються в деяку стійку інформаційну структуру фрактальної конфігурації, яку можна інтерпретувати як деякий фазовий «портрет» структури колективних знань.

3. Підвищення об'єктивності в оцінці рівня засвоєння знань студентами вищих навчальних закладів можливе за рахунок виявлення в них такої структурної компоненти, як залишкові знання, а ефективність діагностики рівня засвоєння знань можна підвищити за рахунок використання системного підходу та кваліметричних технологій, узгоджених із моделлю спеціаліста і вимогами освітніх стандартів.

4. Виявлені закономірності можуть бути використані при оптимізації побудови навчальних курсів, а також при створенні науково-методичних засад моніторингу якості підготовки фахівців у вищих навчальних закладах.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Аванесов В.С.* Научные проблемы тестового контроля знаний. — М.: Исслед. центр, 1994. — 135 с.
2. *Аткинсон Р.* Человеческая память и процесс обучения / Пер. с англ. — М.: Прогресс, 1980. — 528 с.
3. *Згуровський М.З., Панкратова Н. Д.* Основи системного аналізу. — Київ: Видавнича група ВНУ, 2007. — 544 с.
4. *Нейман Ю.М., Хлебников В.А.* Введение в теорию моделирования и параметризации педагогических тестов. — М.: Прометей, 2000. — 168 с.
5. *Черепанов В.С.* Экспериментальные оценки в педагогических исследованиях. — М.: Педагогика, 1989. — 152 с.
6. *Якунин В.А.* Обучение как процесс управления. Психологические аспекты. — Л.: ЛТУ, 1988. — 160 с.
7. *Ясінський В.В.* Матеріали семи турів комплексного моніторингу якості підготовки фахівців в НГУУ «КП»: осінь'2005, весна'2006, осінь'2006, весна'2007, осінь'2007, весна'2008, осінь'2008. — Київ: ВПІ ВПК «Політехніка», 2009. — 84 с.
8. *Ясінський В.В.* Системне моделювання процесів накопичення і дисипації знань // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2007. — № 3. — С. 111–121.
9. *Ясінський В.В.* Циклічне самовідновлення системи знань людини за умов їх пасивної дисипації // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2008. — № 2. — С. 110–114.

Надійшла 22.04.2009

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРЫ КОРПОРАТИВНОЙ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ И ИДЕНТИФИКАЦИЯ ЕЕ СОСТОЯНИЯ

Т.В. КОЗУЛЯ, Н.В. ШАРОНОВА

Изложены теоретико-практические обоснования необходимости и целесообразности введения в систему принятия управленческого решения корпоративной экологической системы. Показана ее структура. Предложены математические подходы к определению характеристик состояния этой системы, а как меру качества принятия управленческого решения в системе экологического мониторинга использовать энтропию.

В настоящее время актуально исследование задачи оптимального управления корпоративной экологической системой (КЭС) — объединением (одна из форм целостной системы) трех систем: экологической (природной), социальной и экономической, функционирование и эволюция которых подчинены динамическому экологическому равновесию, гомеостазу как постоянству внутренней среды и устойчивости целостной структуры [1].

Большинство экспертов по проблемам защиты окружающей среды рекомендуют создать систему постоянного мониторинга и обновления природных систем для снижения антропогенных нагрузок [2]. Однако эволюция существующих мезаструктур (природной, экономической и социальной) неизбежна. Экономические мероприятия (создание систем экострахования, международное сотрудничество, компенсация пострадавшему населению и т.д.) и законодательные меры (законы, инструкции, рекомендации и т.д.) не могут решить проблем экологического характера без вмешательства в развитие не только природной, но и экономической, социальной систем. Решение макроэкологической задачи, т.е. задачи экологизации пространства внутри каждой из составляющей КЭС, возможно при условии создания математической модели корпоративной системы, разработки теории оптимизации управления этой системой на основе выбора универсальных критериев и параметров состояния КЭС и ее составляющих.

ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ

Создание математической модели КЭС на основе универсальных термодинамических характеристик состояния системы и разработка теории идентификации ее состояния с использованием метода компараторной идентификации.

На данном этапе исследований рассмотрены и решены следующие задачи.

1. Разработка математической модели состояния КЭС с использованием элементов термодинамического анализа, синергетики и апостериорной модели оптимизации управления.

2. Теоретическое обоснование и практическое использование энтропии и информативности как критериев идентификации состояния КЭС и оптимизации корпоративного экологического управления.

3. Идентификация состояния КЭС и ее составляющих с применением метода компараторной идентификации.

СУЩНОСТЬ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Согласно существующим подходам полная модель эколого-экономической системы содержит математическое описание четырех взаимосвязанных компонентов [3]:

- 1) социально-экономическая подсистема;
- 2) природная подсистема экосистемы;
- 3) антропогенное воздействие на природную среду и оценка ее последствий;
- 4) влияние природных факторов на жизнедеятельность общественного здоровья человека.

Исследование математического моделирования в этой области ориентировалось на описание динамики экологических систем в условиях антропогенного воздействия [2–4]. Формализованная модель поведения экосистемы в естественном состоянии описывается системой нелинейных дифференциальных уравнений

$$\frac{dx}{d\tau} = f(\tau, x(\tau)),$$

где $x(\tau)$ — вектор-функция состояния экосистемы, а учет антропогенного воздействия означает переход к системе

$$\frac{dx}{d\tau} = f(\tau, x(\tau), \mu(\tau)), \quad (1)$$

где $\mu(\tau)$ — обобщенная характеристика воздействия [3].

Для построения модели типа (1) требуется изучить все необходимые физико-химические, биологические, экономические, технические и социальные факторы. При исследовании процессов загрязнения анализируются информация о количестве и расположении источников загрязнения, составе и динамике выбросов, закономерностях перемещения и трансформации загрязняющих веществ в различных геофизических средах, возможности самоочищения элементов биосферы, а также ответная реакция биоты, меры по контролю и предотвращению загрязнения, что составляет естественный подход к анализу четвертого аспекта эколого-экономического взаимодействия [3].

Сегодня приоритеты отдаются не столько предотвращению нежелательных преобразований или деградации природных систем как таковых, сколько преодолению последствий этих изменений для человека и общества в целом, а критерий «экологическое благополучие» остается социально определяющим.

Функционирование эколого-экономической системы при $\mu(\tau) = \left(y(\tau), \frac{dy}{d\tau} \right)$ имеет вид

$$\begin{cases} dx/d\tau = f(\tau, x(\tau), y(\tau), dy/d\tau), \\ dy/d\tau = q(\tau, y(\tau), x(\tau), dx/d\tau), \end{cases} \quad (2)$$

где $y(\tau)$ — вектор-функция состояния социально-экономической системы [3].

Основные аспекты таких моделей носят социально-экономический характер и связаны с высокой размерностью и сложностью информационного обеспечения. Эти модели имеют блочную структуру из сравнительно автономных систем, состояние которых характеризуется различным набором параметров.

Корпоративный подход к решению экологических задач заключается в гармонизации эволюции трех сложных термодинамических систем в виде единой мегасистемы на приоритетном экологическом начале. В отличие от рассмотренных выше направлений в моделировании сложных систем, одной из составляющих которых является экосистема, концепция КЭС предусматривает разработку и принятие решений, направленных на предотвращение деградации и нежелательных преобразований природных систем.

С учетом содержательной и математической сущностей задач и методов принятия многокритериальных решений [2] для КЭС возможно ввести символическое представление задачи принятия решения вида $\{X, S, R\}$, где X — множество входных сигналов; S — принцип оптимальности, исходя из достижения равновесного состояния подсистем КЭС и гомеостаза как экзо-, так и эндогенного; R — условия принятия решения на основе критерия оптимальности и учета неуправляемых факторов, влияющих на свойства альтернатив, таких как температура окружающей среды, влажность воздуха и т.п.

Условие принятия оптимального решения определяется на основе значений функций полезности оценок частных критериев, оптимизирующих состояние подсистем

$$u_i^*(f_i) = \frac{(f_i - f_{\min})}{(f_{i_{\max}} - f_{i_{\min}})}. \quad (3)$$

В этом случае лучшая альтернатива определяется лицом, принимающим решение (ЛПР), и является средством поддержки процессов принятия решения.

КЭС отличается особенностью характеристик своего состояния из-за множественности и неоднородности параметров для каждой из подсистем. Концепция КЭС позволяет унифицировать показатели идентификации состояния КЭС и ее подсистем при использовании основ термодинамического анализа. Согласно данному подходу КЭС — это целостная термодинамическая система, критерии состояния которой не просто характеризуют ее и каждую из подсистем, но и являются общими для принятия оптимального решения [1, 4, 5].

Для определения наиболее вероятного макросостояния используется не функция вероятности P , а ее энтропия, т.е. $S = C \ln P$, которая при больших N имеет вид

$$S = -\sum_{i=1}^n N_i \ln N_i + C_0. \quad (4)$$

В силу этого равновесное функционирование КЭС и всех ее подсистем в целом будет реализовано таким макросостоянием КЭС, которое соответствует максимуму энтропии.

Стохастический характер процессов в подсистемах корпоративной системы, согласно вероятностной структуре КЭС (4), предусматривает описание каждой из подсистем n макропараметрами (координатами состояния) $x_1(\tau), x_2(\tau), \dots, x_n(\tau)$. Энтропия состояния для таких систем

$$S_{(p,e,s)} = S_{dV}^{(p,e,s)}(x_1(\tau), \dots, x_n(\tau)). \quad (5)$$

Общее же состояние КЭС характеризуется значением

$$S(\tau) = \int_V S_{dV}^{(p,e,s)}(x_1(\tau), x_2(\tau), \dots, x_n(\tau)) dV, \quad (6)$$

где $S^{(p,e,s)}$ — энтропия состояния природной (экологической), экономической и социальной систем соответственно; dV — характеристика размера (объема) макросистем.

Протекание необратимых процессов в составляющих корпоративной системы, являющихся физико-химическими системами, обуславливает изменение энтропии $\Delta S_{dV} \geq 0$, что соответствует интенсивности нарастания энтропии в КЭС.

$$\sigma(\tau) = \frac{dS_{dV}}{d\tau} \geq 0 \quad \text{при } \tau \rightarrow 0. \quad (7)$$

Эта величина связана с вероятностью реализации нового состояния КЭС с изменениями во времени, т.е. с величиной накопления энтропии макросистемы

$$P(\tau) = \frac{dS_{dV}}{d\tau} = \int_V \sigma(x_1(\tau), x_2(\tau) \dots x_n(\tau)) dV. \quad (8)$$

Для принятия управленческого решения с позиций гармонизации функционирования подсистем в КЭС исходят из условия стационарности, т.е. сохранения наиболее приемлемого (с минимальным риском) состояния КЭС в условиях развития всех ее составляющих (наличие обмена вещества и энергии). В этом случае управляющее воздействие не должно приводить к увеличению энтропии, т.е. $P(\tau) \rightarrow \min$ (8).

Применение синергетического подхода к реализации термодинамического описания взаимодействия трех сложных систем в одной целостной корпоративной системе позволяет проанализировать уравнения микрокопического состояния. Потеря устойчивости КЭС определяется небольшим числом коллективных мод, которые служат параметрами порядка, описывающими макроскопическую структуру [4]. В то же время эти макроскопические переменные определяют поведение микрокопических частей системы в силу принципа подчинения. Вблизи точек неустойчивости информация о параметрах порядка изменяется, а информация, относящаяся к подчиненным модам, не изменяется.

$$P(\xi_u, \xi_s) = \prod_s P_s(\xi_s | \xi_u) f(\xi_u), \quad (9)$$

где ξ_u — вероятность, соответствующая параметрам порядка; ξ_s — вероятность амплитуд подчиненных мод.

Условие нормировки состояния устойчивости макросистем

$$\sum_{\xi_s} P_s(\xi_s | \xi_u) = 1. \quad (10)$$

Поскольку при любых масштабах исследования функционирующая КЭС содержит все основные термодинамические потоки, предопределяющие взаимосвязь и состояние трех ее подсистем, то в целом КЭС можно представить в виде квазиизолированной системы при детерминации воздействия на нее в виде некоторых const. Тогда состояние равновесия такой системы выполнимо при $P = 0$, а выход из равновесия означает рост энтропии

$$P = \frac{d_i S}{d\tau} \geq 0.$$

Каждая из подсистем как самостоятельная сложная система имеет свои критерии нормального состояния и функционирования в пределах КЭС:

1) нормализация по безразмерным величинам

$$f_i^H(x) = f_i(x) / \beta(f_i(x)),$$

где $\beta(f_i(x))$ — размерность шкалы значений оценок $f_i(x)$;

2) естественная нормализация

$$f_i^H = \left(f_i(x) - \min_{x \in X} f_i(x) \right) / \left(\max_{x \in X} f_i(x) - \min_{x \in X} f_i(x) \right);$$

3) нормализация сравнения

$$f_i^H(x) = f_i(x) / \max_{x \in X} f_i(x), \quad i = 1, \dots, m.$$

Это в свою очередь позволяет определить систему приоритетов (СП) в принятии решения вида

$$x_1 \underset{\text{СП}}{\succ} x_2 \Leftrightarrow \varphi(f(x_1)) \geq \varphi(f(x_2)) \quad \forall x_1, x_2 \in X, \quad (11)$$

где $\varphi(f(x))$ — функция полезности [2].

Для оптимизации управленческого решения в условиях КЭС целесообразно использовать апостериорную модель оптимизации (АМО) [2], что уменьшает объем и сложность необходимой информации о системе приоритетов ЛПР. Применение АМО позволяет приблизить структуру процедур выявления класса функций полезности и идентификации их параметров к реальным возможностям ЛПР, а также обеспечить решение задач вида $\{X, S, R\}$, которые не вписываются в известные аксиоматические системы. Основную задачу поиска лучшей альтернативы решения для КЭС в случае АМО можно записать

$$x_{СП} = \arg \max_{x \in X} M_S \left\{ \arg \min_{q \in Q} \Phi_q \left\{ q \left[\arg \min_{u_1 \in U_1} \Phi_{u_1} [u_1(f_1(x|s))] | I_{v_1} \right], \dots, \right. \right. \\ \left. \left. \dots, \arg \min_{u_m \in U_m} \Phi_{u_m} [u_m(f_m(x|s))] | I_{v_m} \right] \right\} \right\}, \quad (12)$$

где U_i — класс функции полезности значений $f_i, u_i \in U_i, i=1, \dots, m$; Q — класс функции полезности значений отображения $f: X \rightarrow D, q \in Q$, где D — множество векторных оценок альтернатив и принципа оптимальности R ; I_{v_i} — информация о предпочтениях ЛПП на несравнимых по отношению к \succ_{π} значениях вектора $f = (f_1, \dots, f_m) \in F_m$; Φ_u, Φ_q — функционалы, оценивающие по информации I_{v_i}, I_{φ} общность функций $u_i(f_i)$ и $q(f)$ по отношению к функциям $v_i(f_i)$ и $\varphi(f)$ соответственно; $M_S \{ \xi(s) \}$ — оператор обобщения, ставящий в соответствие оценкам альтернатив $x \in X$ на всем множестве S возможных условий их реализации характеристику качества

$$M_S \{ \xi(s) \} = \begin{cases} \sum_{s \in S} P_s \xi(s), & * \\ \int_s P(s) \xi(s) ds. & ** \end{cases} \quad (13)$$

Оператор $M_S \{ \xi(s) \}$ определяется в соответствии с условиями рассматриваемой ситуации:

* — если S дискретна, то принимает значения 0 или 1, известно вероятностное распределение P_s ;

** — если S непрерывна, то в зависимости от отклика системы на входящий сигнал и процессов в ней определяется плотность распределения как $P(s), s \in S$.

Если принять функцию полезности как одномерную функцию по S , то правило сравнения альтернатив $x_1, x_2 \in X$ по критерию S_i , который характеризуется многозначными оценками $f_i(x_1 | S), f_i(x_2 | S)$, имеет вид

$$x_1 \underset{СП_{S_i}}{\succ} x_2 \Leftrightarrow M_S \{ v_i(f_i(x_1 | s)) \} \geq M_S \{ v_i(f_i(x_2 | s)) \}, \quad (14)$$

где $\underset{СП_{S_i}}{\succ}$ — отношение предпочтения по критерию S_i , которое определено

на несравнимых $\underset{\pi}{\succ}$ многозначных значениях отображения f_i .

Сигналы, поступающие в систему, представляют термодинамические потоки вещества и энергии, которые изменяют состояние или информативность системы. Состояние системы определяется стохастическими процессами и выражается распределением вероятности изменений, зависящей от действия различных факторов и параметров порядка, т.е. от количества воз-

действующих факторов на систему (ξ_u), и амплитуды подчиненных мод (ξ_s), т.е. дополнительных воздействий на систему. Изменения в системе под воздействием внешних факторов или управляющих воздействий и внутренних процессов преобразования вещества и энергии фиксируются в виде приращения информации или изменения энтропии состояния (8, 9).

Поскольку информация

$$i = -\sum_j P_j \ln P_j, \quad (15)$$

то ее приращение определяется как

$$I = I_f + \sum_s I_s,$$

где I_f — информация о параметрах порядка, т.е. поступающая из системы постоянно при воздействии детерминированных внутренних и внешних факторов, является величиной непрерывной

$$I_f = -\sum_{\xi_u} f(\xi_u) \ln f(\xi_u); \quad (16)$$

I_s — информация, относящаяся к подчиненной моде с индексом s

$$I_s = -\sum_{\xi_s} P_s(\xi_s | \xi_u) \ln P_s(\xi_s | \xi_u). \quad (17)$$

При выходе системы из состояния равновесия информация о дополнительных воздействиях или стохастических явлениях резкого изменения не претерпевает, а информация, отражающая состояние системы (параметров порядка), резко изменяется. Величина I_s является информацией в предположении, что величина ξ_u принимает определенное значение.

Таким образом, оценить внешнее воздействие возможно по информации о состоянии системы. Параметр порядка подчиняет моды особым образом, что гарантирует возникновение макроскопической структуры и гармонического взаимодействия ее составляющих. Поведение КЭС вблизи порога устойчивости будет соответствовать сильному возрастанию информации из-за критических флуктуаций, т.е. из-за возрастания или уменьшения S .

Согласно теореме Пригожина [5] при конечно малых возмущениях в КЭС производство энтропии будет удовлетворять условиям: $dP \leq 0$ — эволюции; $P = \min$, $dP = 0$ — равновесия или стационарности.

В зависимости от *энтропии* или *информативности* в каждой из подсистем КЭС можно оценить управляющее решение как следствие состояния КЭС в целом, т.е. параметром или критерием выходных сигналов будет энтропия состояния КЭС. Реализация данного решения в пределах некоторого временного интервала $[\tau_0 T]$ может привести к взаимоисключающим исходам, учитывая схему КЭС локального уровня (рис. 1). На рис. 1 воздействие на КЭС и взаимодействие между ее составляющими осуществляется в виде

$E_x M_x$ — внешнего термодинамического потока (потока энергии и вещества);

$dE'_{x_1} M'_{x_1}$, $dE'_{x_2} M'_{x_2}$, $dE'_{x_3} M'_{x_3}$ — внутреннего изменения термодинамического потока вследствие взаимодействия природной экосистемы (ПЭС), экономической (ЭС) и социальной (СС).

Критерием оптимальности функционирования такой системы является сохранение термодинамического равновесия, т.е. $\Delta S \rightarrow \min \rightarrow 0$ или состояние $S = \max$ по отношению к другим состояниям.

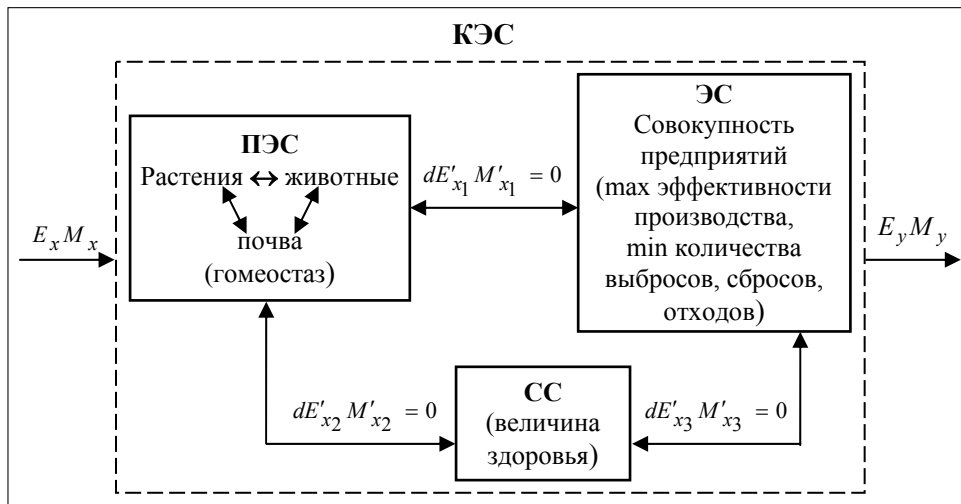


Рис. 1. Локальная корпоративная экологическая система и критерии оценки состояния

Следствия принятия управленческого решения для данной системы:

S_1 — запланированный ход событий в интервале $[t_0 T]$, например, увеличение экономической мощности в ЭС с учетом существования взаимосвязей с другими составляющими КЭС посредством термодинамических потоков вещества и энергии — $dE'_{x_n} M'_{x_n} = 0$ при $n = 1, 2, 3$. В результате система не выйдет из состояния равновесия, что не приведет к возникновению альтернатив развития событий.

S_2 — функционирование КЭС с допустимым отклонением от планового развития событий S_4, S_5 (или в отдельные моменты на данном отрезке времени, или на всем его протяжении), что также соответствует стационарному состоянию КЭС.

S_3 — нарушение состояния КЭС в результате самоорганизации каждой из подсистем S_6, S_7, S_8 , что приводит к поиску нового стационарного состояния КЭС: S_0^1 — обусловленного изменением характера взаимодействия между подсистемами; S_0^{11} — состояния стабилизации (достижение подсистемами нормативного состояния (рис. 2)).

Отсюда S_1, S_2, S_3 — следствия первой ступени, а S_4, S_5, S_6, S_7, S_8 — второй ступени детализации. Выбор общего числа следствий решения, т. е. степени детализации, предопределяется необходимостью получения надежных оценок следствия: «вероятности» наступления следствия и его «полезности».

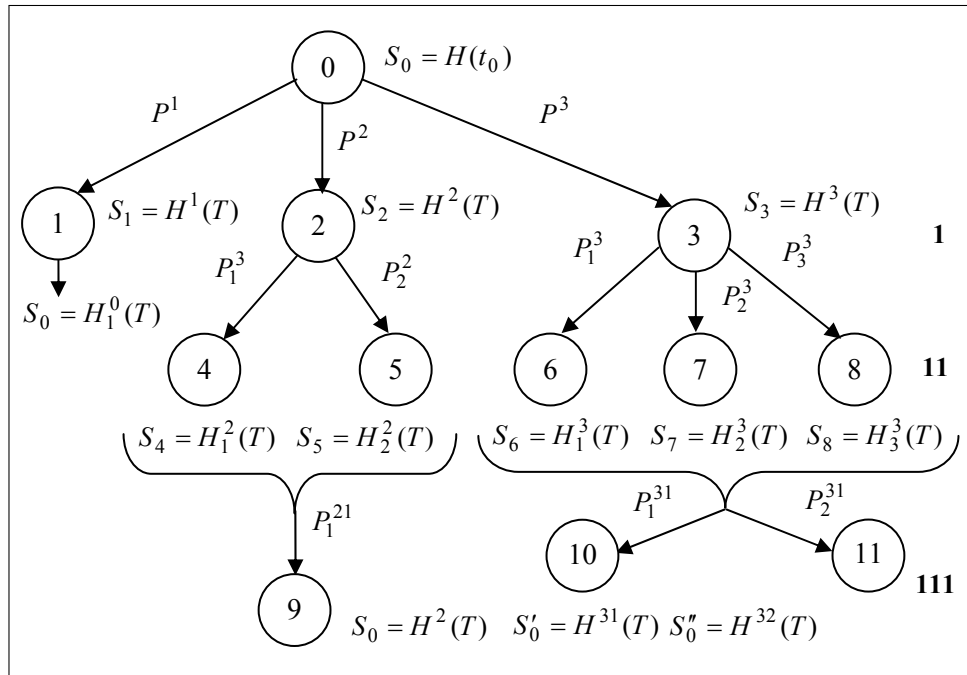


Рис. 2. Дерево альтернатив состояния КЭС в случае принятия решения и обобщения следствий H^n

Вероятность следствий данного решения обозначена P . В силу свойств следствий любое из них в произвольно выбранной степени реализации является суммой несовместимости событий – следствий очередной (более детальной) ступени.

$$P_\varphi^v = \sum_{\psi} P_{\varphi,\psi}^v, \quad P^v = \sum_{\varphi} P_\varphi^v, \quad \sum_v P^v = 1, \quad (18)$$

где v — номер следствия на первой ступени реализации управления; φ — на второй; ψ — на третьей.

Если принять, что i -й условный номер альтернативы имеет j -й номер следствия, то информация о принимающемся решении задается в виде рядов, упорядочивающих вероятности

$$(\forall i, \alpha, j_\alpha \in J) P_{ij_\alpha}^N \geq P_{ij_{\alpha+1}}^N, \quad (19)$$

$$(\forall j \in J, \xi, i_\xi \in I) P_{i_\xi j}^N \geq P_{i_{\xi+1} j}^N, \quad (20)$$

где $J = \{j | j = \overline{1, n}\}$; $I = \{i | i = \overline{1, m}\}$; α — порядковый номер в ряду вероятностей следствий одной i -й альтернативы, расположенных по убыванию их величин ($\alpha = \overline{1, n}$); j_α — номер следствия, имеющего α -й порядковый номер от начала в ряду (19); ξ — порядковый номер в упорядоченном по убыванию ряду вероятностей одноименного следствия всех рассматриваемых альтернатив; i_ξ — номер альтернативы, j -е следствие которой имеет

ξ -й порядковый номер в ряду (20). Число рядов вида (19) равно числу альтернатив (m), число рядов вида (20) — числу следствий (n). Для фиктивных следствий $P_{ij}^N = 0$. Тогда P_{ij}^N — это неизвестное истинное значение субъективной вероятности j -го следствия из i -й альтернативы.

На первом этапе, согласно имеющимся данным мониторинга, определяются доверительные интервалы для каждой субъективной вероятности P_{ij}^N , после чего по дополнительной информации о состоянии каждой из подсистем КЭС находятся некоторые точечные оценки P_{ij}^N , отвечающие задаваемой степени риска. Для любых двух соседних членов рядов (20), определяющих отношение порядка между вероятностями одноименного следствия, с номером j выполняется условие

$$\begin{aligned} \min P_{i,\xi,j} &\geq \min P_{i,\xi+1,j}, \\ \max P_{i,\xi+1,j} &\leq \max P_{i,\xi,j}, \end{aligned}$$

где \max и \min — наибольшие и наименьшие значения оценок P_{ij} на множестве всех условий (19) и (20).

Отсюда нижние и верхние оценки P_{ij} в общем случае

$$\min P_{ij} > \inf P_{ij}; \quad \max P_{ij} < \sup P_{ij}. \quad (21)$$

Таким образом, чем больше возникает альтернатив реализации принятия управленческого решения, тем больше накладывается ограничений на каждую из оценок P_{ij} и тем меньше может быть длина предельного доверительного интервала, содержащего P_{ij}^N .

Согласно рис. 2 в качестве оцениваемых рассматриваются вероятности следствий $S_1, S_0, S'_0, S''_0, P_1^N, P_9^N, P_{10}^N, P_{11}^N$. В соответствии с допущением имеем

$$P^3 = P_1^3 + P_2^3 + P_3^3; \quad P^2 = P_1^2 + P_2^2. \quad (22)$$

На практике для реализации подобного подхода для КЭС используем рекомендации [6] и для произвольного j -го следствия из i -й альтернативы одной из границ 100%-ного доверительного интервала сформулируем для α порядкового номера следствия в виде задачи нахождения оптимального значения P_{ij} при ограничениях

$$\begin{aligned} (\forall i, \alpha, j_\alpha \in J) \quad &P_{ij_\alpha} - P_{ij_{\alpha+1}} - \gamma_{ij_{\alpha+1}} = 0, \\ (\forall j \in J, \xi \in I) \quad &P_{i\xi j} - P_{i\xi+1 j} - \beta_{i\xi+1 j} = 0, \\ (\forall i) \quad &\sum_{j_\alpha \in J} P_{ij_\alpha} = 1, \\ (\forall j_{\alpha+1} \in J; i; j_{\xi+1} \in I, j \in J) \quad &\gamma_{ij_{\alpha+1}} \geq 0, \beta_{i,\xi+1,j} \geq 0. \end{aligned} \quad (23)$$

Система ограничений (23) получена преобразованиями соответствующего порядка:

- уравнения (19) путем добавления к правой части дополнительной неотрицательной переменной $\gamma_{ij\alpha+1}$ с последующим переносом правой части в левую;
- аналогичные преобразования с уравнением (20);
- следствия альтернативы, которые составляют полную группу несовместных событий.

Тогда

$\text{opt } P_{ij} = \max P_{ij}$ — ищется верхняя граница доверительного интервала;

$\text{opt } P_{ij} = \min P_{ij}$ — ищется нижняя граница.

В качестве меры неопределенности количественной оценки отдельно взятой вероятности принимаем разность

$$\Delta_\alpha = \sup P_\alpha - \inf P_\alpha, \quad (24)$$

а меру неопределенности всей совокупности величин рассчитываем как среднеарифметическое

$$\partial(n) = \frac{\sum \Delta_\alpha}{n}. \quad (25)$$

Оценка принятого управленческого решения с целью гармонизации взаимодействия всех подсистем КЭС и стабилизации состояния КЭС в целом предполагает в качестве измерителя (критерия) оценки состояния системы или степени ее дестабилизации введение экологического компаратора (ЭК) (рис. 3) [7].

Деградационные процессы в составляющих КЭС фиксируются в информационной системе экологического мониторинга на основе выходных сигналов f_1, f_2, \dots, f_n , соответственно входу в компаратор ЭК. Предикат ЭК имеет вид

$$\begin{aligned} & P(E_{x_1} M_{x_1}, E_{x_2} M_{x_2}, \dots, E_{x_n} M_{x_n}) = \\ & = \text{ЭК}(f_1(E_{x_1} M_{x_1}), f_2(E_{x_2} M_{x_2}), \dots, f_n(E_{x_n} M_{x_n})) \\ & \text{или } P\left(\left[X_i^j\right]_N = \bigcup_{y=0}^N \left[X_i^j\right]_1^y\right) = \text{ЭК}\left(f_N\left[Y_l^j\right]_N = \bigcup_{y=0}^N \left[Y_l^j\right]_1^y\right), \end{aligned} \quad (26)$$

что позволяет сделать выводы об общем состоянии КЭС по значению t .

$$\begin{aligned} P(x_1, x'_1, x_2, x'_2, \dots, x_m, x'_m) &= K(f_1(x_1), f_2(x_2), \dots, f(x_m), f(x'_1), f(x'_2), \dots, f(x'_m)), \\ P(x_1, x'_1, x_2, x'_2, \dots) &= t. \end{aligned} \quad (27)$$

При этом внутреннее состояние объекта описывается условиями

$$Y_1 = f_1(x_1; x'_1), \quad Y_2 = f_2(x_2; x'_2). \quad (28)$$

Предикат соотношения естественных параметров и параметров управления представляется зависимостью

$$P(x_1, x'_1) = D(f(x_1), f(x'_1)). \quad (29)$$

Своим поведением компаратор реализует предикат

$$K(Y_1, Y_2, \dots, Y_n) = t, \quad (30)$$

соответствующий отношению « K — предикат компаратора».

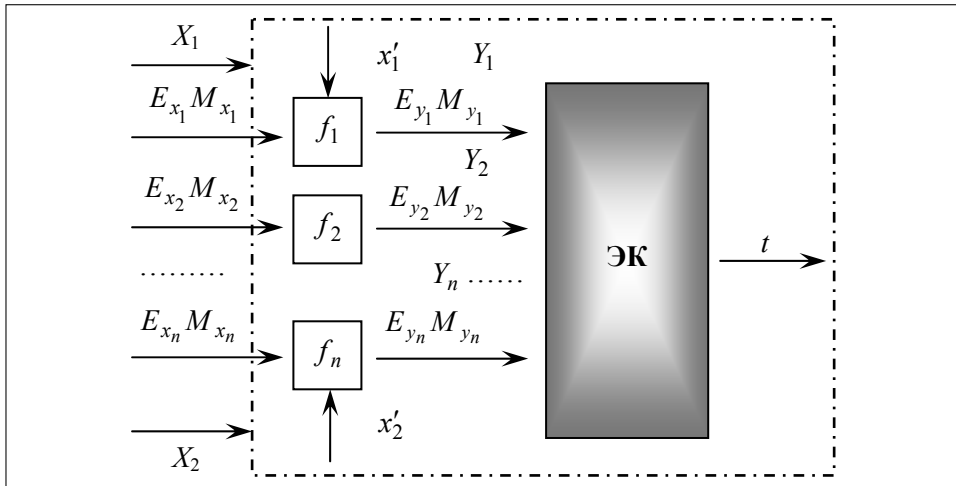


Рис. 3. Схема работы экологического компаратора

Известно, что предикат предвидит состояние объекта при $t = \begin{cases} 1 \\ 0 \end{cases}$, но состояние КЭС обусловлено увеличением и уменьшением значения энтропии, т. е. $-1 < \Delta S < 1$.

$$D(Y_1, Y'_1) = \begin{cases} -1 & \text{при } x_1 \neq x'_1, \\ 1 & \text{при } x_1 = x'_1, \\ 0 & \text{при } x_1 = x' \text{ или } x'_1 = 0. \end{cases} \quad (31)$$

Поэтому энтропия убывает с увеличением управляющего воздействия (упорядочение системы $dS < 0$), возрастает с увеличением управляющего воздействия (неравновесное состояние $dS > 0$), неизменна (система в состоянии равновесия $dS = 0$).

Поскольку поступающая информация представляет собой итог физико-химических преобразований в КЭС, критерием оценки которых является энтропия S , то предикат отношения как условие равновесия соответствует

$$P(S_1, S_2, S_3) = \text{ЭК}(f_1(S_1), f_2(S_2), f_3(S_3)),$$

$$\text{ЭК}(y_1, y_2, y_3) = \begin{cases} 1 & \text{— *}, \\ 0 & \text{— **}, \end{cases} \quad (32)$$

где * — нарушение динамического равновесия в подсистемах и системе в целом; ** — сохранение состояния равновесия.

ВЫВОДЫ

Использование принципов термодинамики, теории оптимизации принятия решения в системе экологического мониторинга с целью фундаментальных научных исследований формирования теории развития социально-экономической и природной систем позволяет рассматривать КЭС как корпоративную модель экологического управления. На основе анализа ее структуры и особенностей взаимодействия подсистем определено:

1. КЭС как кибернетическая модель имеет следующие функциональные критерии:

- оптимизационные — термодинамическая функция (энтропия, информативность) (4), (6), (15);
- адаптационные — изменение термодинамического потока вещества и энергии (7), (8);
- эволюционные — переход системы из одного состояния динамического равновесия в другое.

2. Состояние КЭС как стохастической системы, функционирующей в условиях риска и неопределенности, описывается статистической термодинамической функцией энтропии S или информативности i : $i = -\sum_j P_j \ln P_j$

и стабилизируется в условиях принятия оптимального управленческого решения (13), (14), (23) – (25).

3. Идентификация состояния КЭС возможна с помощью метода компараторной идентификации на основе значения экологического компаратора (31, 32).

ЛИТЕРАТУРА

1. Козуля Т.В. Аналіз і синтез управлінського рішення для корпоративної системи в екологічному моніторингу // АСУ и приборы автоматики. — 2005. — № 132. — С. 26–34.
2. Современный синтез критериев в задачах принятия решений / А.Н. Катулев и др. — М.: Радио и связь, 1992. — 130 с.
3. Горстко А.Б., Угольницкий Г.А. Введение в моделирование эколого-экономических систем. — Ростов-на-Дону: Ростовский ун-т, 1990. — 112 с.
4. Николас Дж. Динамика иерархических систем: эволюционное представление. — М.: Мир, 1989. — 488 с.
5. Хакен Г. Информация и самоорганизация: макроскопический подход к сложным системам. — М.: Мир, 1991. — 240 с.
6. Федулов А. А., Федулов Ю. Г., Цыгичко В. Н. Введение в теорию статистически ненадежных решений. — М.: Статистика, 1979. — 278 с.
7. Бондаренко М.Ф., Шабанов-Кушнаренко Ю.П. О бионике интеллекта // Бионика интеллекта. — 2004. — № 1(61). — С. 3–14.
8. Системный анализ и проблемы развития городов // Ю.С. Попков и др. — М.: Наука, 1983. — 512 с.

Поступила 19.05.2007

**МОДЕЛЬ ПРИВАБЛИВОСТІ ВИБОРУ
ТА ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

Г.П. ПОВЕЩЕНКО

Розглядається математична модель прийняття рішень із використанням функцій привабливості вибору, яку побудовано на основі інтегралу збереження, що враховує обмеженість ресурсів до існування системи конкуренції ідей, та інтегралу руху, який обмежує сумарний темп системи. Наведено приклад моделювання процесу прийняття рішень у парламенті з точки зору пересічного спостерігача, не знайомого з «підкилимними» факторами.

ВСТУП

Вибори до парламенту нагадують ф'ючерсну угоду — торгівлю за зразками ще відсутнього в наявності товару. Зразки майбутнього товару — ідеї, програми та обіцянки партій і блоків. Партії пропонують свій майбутній товар, виборці його купують на виборах за свої голоси. Маємо політичний ринок — торгівлю ідеями, де політична агітація — реклама майбутнього товару. А де гарантія якості? Яким чином страхувати ризик? Привабливість обіцянок змушує виборців змінювати вибір. Але інтуїтивно відчувається високий ступінь непередбачуваності вибору як іманентної суті гуманітарних систем.

Реальний розподіл голосів прихильників X, Y, Z -ідей на парламентських виборах фіксує Центральна виборча комісія у вигляді сукупності $O_e(x_e, y_e, z_e)$. Парламентський пропорційний перерозподіл $O_*(x_*, y_*, z_*)$ реального розподілу голосів здійснюється таким чином:

$$x_* = \frac{x_e}{x_e + y_e + z_e}, \quad (1)$$

$$y_* = \frac{y_e}{x_e + y_e + z_e}, \quad (2)$$

$$z_* = \frac{z_e}{x_e + y_e + z_e}, \quad (3)$$

де x_*, y_*, z_* — структуризація парламенту за ідейними ознаками: стаціонарне співвідношення між прихильниками відповідного вибору в парламен-

ті або відносна чисельність парламентських фракцій (x — коаліція, y — опозиція, z — «третя» сила).

За економічною термінологією такий перерозподіл можна назвати сумнівно обґрунтованим (спричиненим парламентською монополією на законодавчу владу) підвищенням реальної ціни, яку дають виборці за ту чи іншу ідею. Зауважимо, що знаменник в (1) – (3) менше одиниці, бо до парламенту проходять лише ті політичні сили, які подолали 3% -ний прохідний бар'єр. Очевидно, що це бар'єр на шляху прихильників саме «третьої» сили, за рахунок і без волі яких і відбувається перерозподіл.

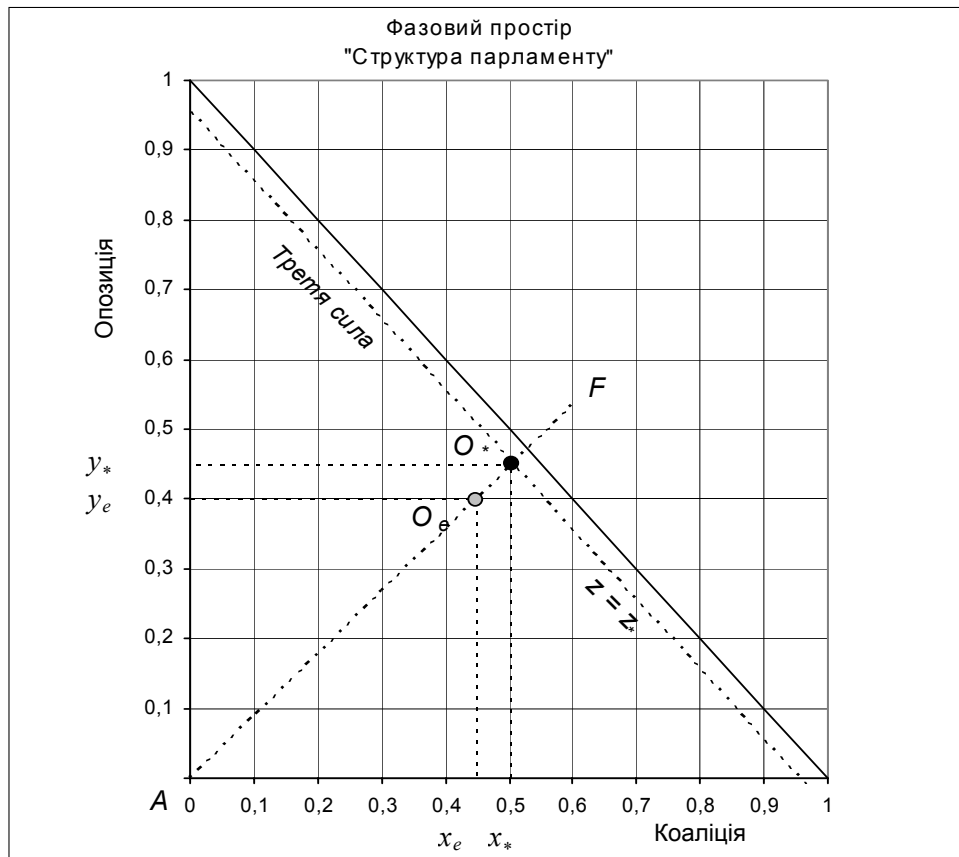


Рис. 1. Парламентський перерозподіл реального розподілу голосів виборців (O_e — розподіл за даними ЦВК; O_* — перерозподіл у парламенті)

Отже, парламентська структура як сукупність ідей має обмеження у вигляді пропорційності між точками O_e і O_* (рис. 1).

$$\frac{y_e}{z_e} = \frac{y_*}{z_*}, \quad (4)$$

$$\frac{x_e}{z_e} = \frac{x_*}{z_*}, \quad (5)$$

$$\frac{x_e}{y_e} = \frac{x_*}{y_*}. \quad (6)$$

На рис. 1 видно, що перерозподіл спрямовано на витискання «третьої» сили з парламентської структури, за великим рахунком, на її дезинтеграцію.

Очевидно також, що парламентська система конкуренції ідей функціонує в рамках ще одного обмеження

$$x + y + z = x_* + y_* + z_* = 1, \quad (7)$$

яке можна трактувати як загальний обмежений інтелектуальний ресурс парламенту, його несівну здатність або умову конкуренції ідей.

Але, окрім різних ідей, існують ще спільні інтереси, які й спонукають до прийняття узгоджених рішень шляхом голосування.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Створення імітаційної моделі прийняття рішень на основі використання функцій привабливості того чи іншого вибору. Предмет моделювання — процес прийняття рішень у парламенті з точки зору пересічного спостерігача, не знайомого з «підклимними» факторами.

ФУНКЦІЯ ПРИВАБЛИВОСТІ ВИБОРУ

Для гуманітарних систем найбільш адекватними є динамічні моделі, що враховують еволюцію та мінливість [1].

Будь-який еволюційний процес як динамічний ланцюг причинно-наслідкових подій, розподілених у часі та просторі, є значною мірою об'єктивно невизначеним саме за наявності множини можливих варіантів подальшого розвитку. Люди завжди мають свої мрії, бажання та проекти, що базуються на передбаченні майбутнього. Виникає різниця (градієнт) між бажанням та можливістю.

Можна припустити, що бажання обрати один конкретний варіант з декількох можливих має бути пропорційним відноській привабливості цього варіанту. Але привабливість змінюється, і таким чином виникає петля зворотного зв'язку між варіантами вибору. Поведінка системи визначається характером залежності привабливості від змінних системи. Математична формалізація такого нечітко визначеного параметра системи, як привабливість вибору, має вигляд функції привабливості, що змінюється в залежності від змінних системи і, можливо, збігається до постійного значення. Зрозуміло, аналіз поведінки системи з такими характеристиками є дещо умовним.

Наприклад, можна припустити, що відносна привабливість вибору Y або Z для тих, хто зробив вибір X , дорівнює нулю за постійного співвідношення

$$\frac{y}{z} = \frac{y_*}{z_*}; \quad (8)$$

відносна привабливість вибору X або Z для тих, хто зробив вибір Y , дорівнює нулю за постійного співвідношення

$$\frac{x}{z} = \frac{x_*}{z_*}; \quad (9)$$

відносна привабливість вибору X або Y для тих, хто зробив вибір Z , дорівнює нулю за постійного співвідношення

$$\frac{x}{y} = \frac{x_*}{y_*}, \quad (10)$$

де $x = X/N$; $y = Y/N$; $z = Z/N$ — поточна відносна кількість прихильників відповідного варіанту вибору; N — загальна кількість прихильників всіх варіантів.

Співвідношення (8)–(10) означають, що стала пропорційність між чисельністю прихильників вибору Y та Z (X та Z ; X та Y) не приваблює до них прихильників вибору $X(Y, Z)$ і, навпаки, за таких умов вибір $X(Y, Z)$ не приваблює прихильників вибору Y та Z (X та Z ; X та Y). У такому разі відповідні функції привабливості можна записати у вигляді

$$\phi_x = \frac{z_*y - y_*z}{t_s}, \quad (11)$$

$$\phi_y = \frac{x_*z - xz_*}{t_s}, \quad (12)$$

$$\phi_z = \frac{xy_* - x_*y}{t_s}, \quad (13)$$

де t_s — характерний час вибору варіантів, наприклад, усереднений час прийняття (або відхилення) рішень у парламенті (від пропозиції до голосування). Відомо, що ця часова характеристика парламентського процесу суттєво залежить від різних чинників, але вона існує аналогічно часові перебування суміші в хімічних реакторах, усередненому часові перебування одного покупця в супермаркеті, часові перебування школяра або студента в учбовому закладі і т.ін.). Зрозуміло, що чинники привабливості можуть бути надзвичайно різноманітними як по суті, так і формально.

Отже, функції привабливості (11)–(13) є всього лише формалізацією парламентської норми, згідно з якою точки O_e і O_* лежать на прямій AF (рис. 1). В точці O_* функції привабливості дорівнюють нулю.

Очевидно, що зважена сума функцій привабливості ідей дорівнює нулю

$$x_*\phi_x + y_*\phi_y + z_*\phi_z = 0. \quad (14)$$

Це підкреслює різницю між конкуренцією ідей та інтересів і означає, що ідейні розбіжності часто-густо не заважають порозумінню за наявності спільних інтересів. Наприклад, за умови паритету варіантів вибору («справедливий» розподіл)

$$x_* = y_* = z_* = 1/3 \quad (15)$$

сума функцій привабливості дорівнює нулю

$$\phi_x + \phi_y + \phi_z = 0. \quad (16)$$

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ

Можна припустити далі, що темпи зміни вибору варіантів X , Y , Z визначаються відповідними функціями привабливості

$$\text{temp } x = \phi_x, \quad (17)$$

$$\text{temp } y = \phi_y, \quad (18)$$

$$\text{temp } z = \phi_z. \quad (19)$$

Очевидно, дана модель конкуренції ідей має загальний інтеграл руху (на кшталт механічної енергії)

$$x_* \text{temp } x + y_* \text{temp } y + z_* \text{temp } z = 0, \quad (20)$$

що можна трактувати як обмеження у вигляді збереження сумарного темпу системи (аналогічно інтеграл (7) можна інтерпретувати як збереження ресурсу системи).

Із системи (17)–(19) слідує, що швидкості змін вибору X , Y , Z пропорційні числу тих, хто зробив цей вибір у даний момент, і відноській привабливості інших варіантів [1, 2]

$$\frac{dx}{d\tau} = x(yz_* - y_*z), \quad (21)$$

$$\frac{dy}{d\tau} = y(x_*z - xz_*), \quad (22)$$

$$\frac{dz}{d\tau} = z(xy_* - x_*y), \quad (23)$$

де $\tau = t/t_s$ — зведений поточний час; x_* , y_* , z_* — стаціонарний стан системи, що очевидно.

Два співмножники у правій частині диференціальних рівнянь віддзеркалюють дві основні особливості «живих» систем: перший — позитивний зворотний зв'язок на самого себе, визнаний сучасною наукою за основу життя, а другий — вплив оточення, або конкурентну боротьбу за доступ до обмежених ресурсів (наприклад, за кількість прихильників того чи іншого варіанта).

Очевидно, що сума швидкостей змін

$$\frac{dx}{d\tau} + \frac{dy}{d\tau} + \frac{dz}{d\tau} = 0 \quad (24)$$

як наслідок умови конкуренції ідей (7). Ця умова формалізує обмеженість ресурсів до існування системи (несівна здатність системи), тобто її можливості. Зрозуміло, що будь-яка система може функціонувати тільки в межах своїх можливостей, які створюються наявними ресурсами.

Інтеграл руху (20) визначається лінією рівня

$$x^{x_*} y^{y_*} z^{z_*} = C, \quad (25)$$

$$x_* \ln x + y_* \ln y + z_* \ln z = \ln C, \quad (26)$$

$$\frac{d \ln C}{dt} = \frac{x_*}{x} \frac{\partial x}{\partial \tau} + \frac{y_*}{y} \frac{\partial y}{\partial \tau} + \frac{z_*}{z} \frac{\partial z}{\partial \tau} = 0. \quad (27)$$

Максимальне значення інтеграла руху відповідає стаціонарному стану системи

$$C_{\max} = x_*^{x_*} y_*^{y_*} z_*^{z_*}. \quad (28)$$

Геометрично це вершина тригранного пагорба, основою якого є площина (7), а лінії рівня задаються значеннями $0 < C < C_{\max}$. Конкретне значення інтеграла руху $C(x_0, y_0, z_0)$ визначається початковими умовами.

З (24) та (27) слідує система диференціальних рівнянь (21)–(23), але замість неї в певних випадках можна користуватися рівнянням фазової траєкторії системи

$$\frac{\partial y}{\partial x} = \frac{y x_* (1 - y) - x (1 - y_*)}{x y (1 - x_*) - y_* (1 - x)}, \quad (29)$$

яка є кривою, замкненою ($C = \text{const}$) навколо стаціонарної точки $O_*(x_*, y_*, z_*)$ [2]. Крайні точки цієї кривої, які визначають зміну знаків функцій привабливості, відповідають умовам

$$\frac{dy}{dx} = 0; \frac{dx}{dy} = 0 \quad (30)$$

і належать відповідним прямим (лініям нульової привабливості), що перетинаються в точці $O_*(x_*, y_*)$

$$y = 1 - \frac{1 - y_*}{x_*} x, \quad (31)$$

$$y = \frac{y_*}{1 - x_*} (1 - x). \quad (32)$$

Отриману систему рівнянь (21)–(23) можна назвати математичною (безрозмірною) моделлю системи конкуренції варіантів, ідей і т. ін., а її праву частину — джерелом їх прихильників. Це означає, що часові зміни як суми локальних змін та міграції прихильників ідей

$$\frac{dx}{dt} = \frac{\partial x}{\partial t} + \frac{\partial x}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial t} = x(yz_* - y_*z), \quad (33)$$

$$\frac{dy}{dt} = \frac{\partial y}{\partial t} + \frac{\partial y}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial t} = y(x_*z - xz_*), \quad (34)$$

$$\frac{dz}{dt} = \frac{\partial z}{\partial t} + \frac{\partial z}{\partial s} \frac{\partial s}{\partial t} = z(xy_* - x_*y) \quad (35)$$

визначаються їх джерелом. Тут $s = l/L$ — зведена просторова координата системи; l — просторова координата; $L \sim \sqrt{\text{площа системи}}$ — геометричний розмір системи. Зрозуміло, що за відсутності в парламенті просторового чинника градієнти змінних та швидкість міграції є нульовими, і тому міграцію ідей та їх довільне розповсюдження можна не враховувати [2].

У загальному випадку при моделюванні процесу прийняття рішень умови (7), (24) надають можливість користуватися системою двох рівнянь замість трьох (21) – (23)

$$\frac{\partial x}{\partial \tau} = x[(1 - x_* - y_*)y - y_*(1 - x - y)], \quad (36)$$

$$\frac{\partial y}{\partial \tau} = y[x_*(1 - x - y) - x(1 - x_* - y_*)]. \quad (37)$$

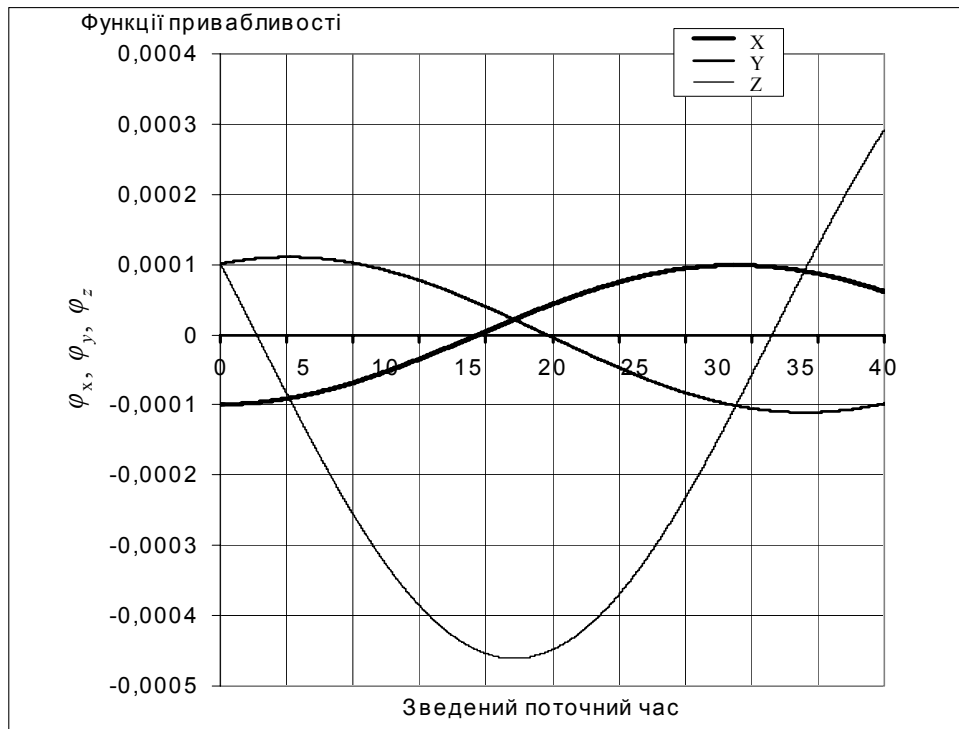


Рис. 2. Зміна привабливості варіантів вибору

Наявність фактору привабливості того чи іншого вибору створює зворотні зв'язки як основу явища самоорганізації системи конкуренції ідей. Саме цю обставину треба в першу чергу мати на увазі при конструюванні функцій привабливості, бо несвізна здатність системи є функцією її миттєвого стану за рахунок залежності привабливості від змінних системи.

Отже, порушення пропорційності (8)–(10) призводить до зміни знаку функцій привабливості і, відповідно, до зміни характеру процесу прийняття рішень. На рис. 2 наведено приклад функцій привабливості, що відповідає ситуації на рис. 1.

Модель процесу прийняття рішень у парламенті з використанням функцій привабливості можна представити у вигляді

$$r = 225 \left(\frac{\phi_x + |\phi_x|}{\phi_x} x + \frac{\phi_y + |\phi_y|}{\phi_y} y + \frac{\phi_z + |\phi_z|}{\phi_z} z \right), \quad (38)$$

де r — кількість голосів за прийняття рішення.

Результат моделювання процесу прийняття рішень наведено на рис. 3, 4, 5. Він нагадує ситуацію на початку роботи парламенту шостого скликання: більшість рішень приймалася в околі 225 голосів «за», хоча були й прийняті рішення понад 400 голосами. З рис. 2, 3 видно, що узгодженість рішень відповідає збігу знаків функцій привабливості, тобто збігу інтересів.

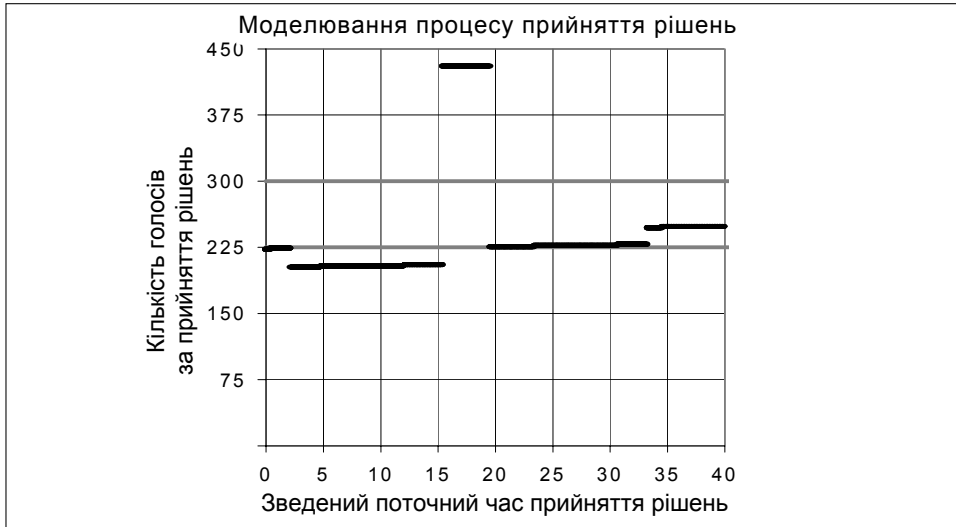


Рис. 3. Рішення приймають (голосують) коаліція, опозиція та «третя» сила

На рис. 4 показано процес голосування за відсутності голосів опозиції згідно з моделлю

$$r = 225 \left(\frac{\phi_x + |\phi_x|}{\phi_x} x + \frac{\phi_z + |\phi_z|}{\phi_z} z \right), \quad (39)$$

а на рис. 5 — за відсутності голосів опозиції та «третьої» сили

$$r = 225 \left(\frac{\phi_x + |\phi_x|}{\phi_x} x \right). \quad (40)$$

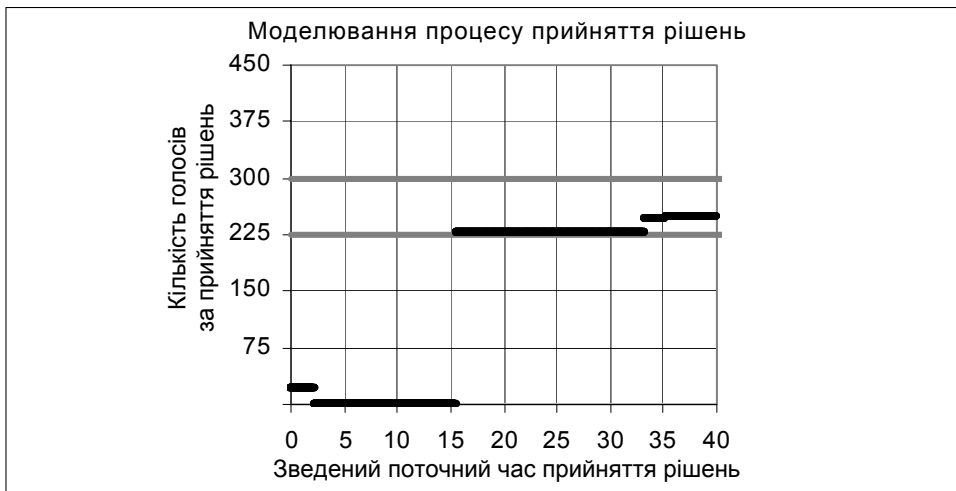


Рис. 4. Опозиція не голосує

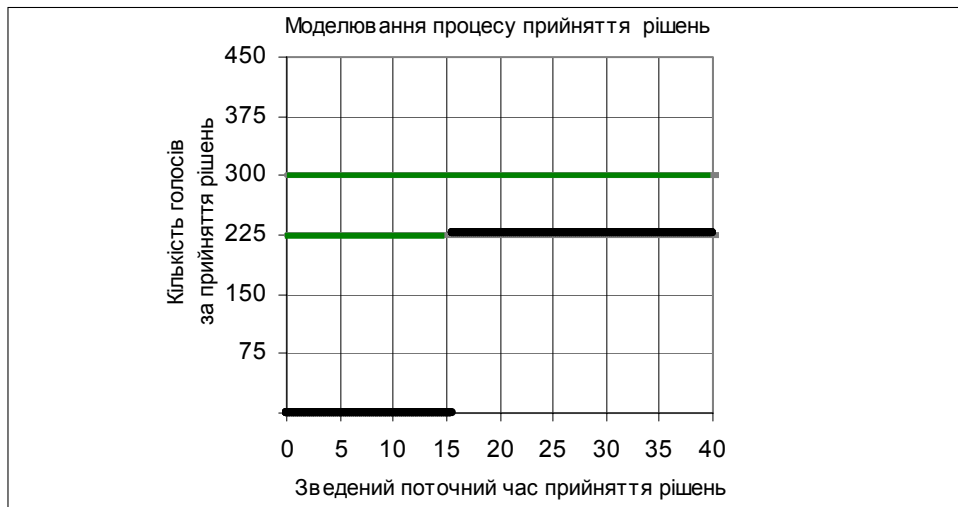


Рис. 5. Голосує лише коаліція

За «справедливого» варіанту паритету голосів у парламенті (15) функції привабливості та процес прийняття рішень можуть мати вигляд (рис. 6, 7).

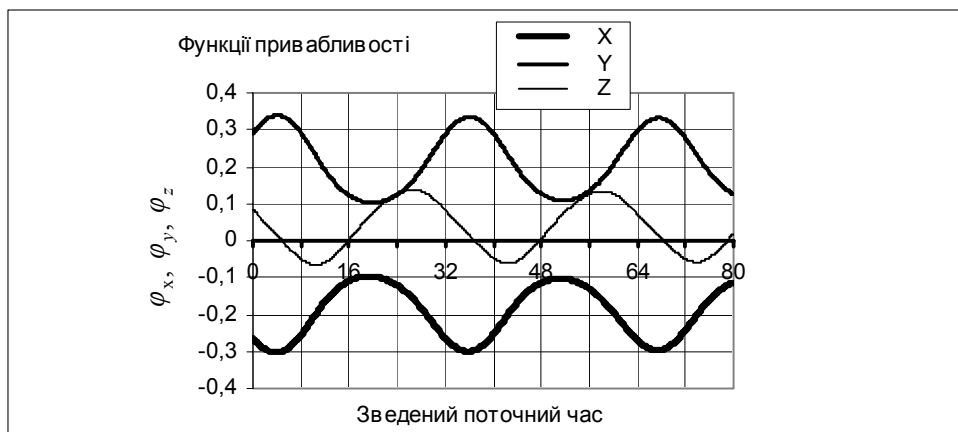


Рис. 6. Функції привабливості за паритетного представництва ідей в парламенті

З рис. 7 видно, що кожна ідея має рівні з іншими можливості бути схваленою, якщо вчасно її проголосувати, або відхиленою. Саме з цим пов'язана така властивість системи (21)–(23), як ергодичність, суттєвий зміст якої полягає в тому, що в усіх станах система буває з ймовірністю одиниця, і час повернення в будь-який конкретний стан, починаючи з моменту відходу з нього, кінцевий [1]. Відповідно, ергодичність стаціонарних станів системи конкуренції ідей означає, що в будь-який стан система може потрапити з ймовірністю одиниця, тобто всі ідеї мають рівні можливості. Будь-яке співвідношення між поточними значеннями x, y, z рівноймовірне (законодавчі можливості конкуренції ідей за демократії). Зауважимо, що це нагадує ситуацію на фінансовому ринку за умови відсутності арбітражних можливостей, коли всі учасники ринку мають рівні можливості, і жоден з них не має можливості купити дешевше ризиковий пакет аби продати його дорожче. За

дорожче. За таких умов виводиться рівняння оптимальності для ціни деривативів — інструментарію, який забезпечує хеджування ризику для учасників фінансового ринку [3] (хеджування — форма страхування ціни і прибутку при здійсненні ф'ючерських угод).

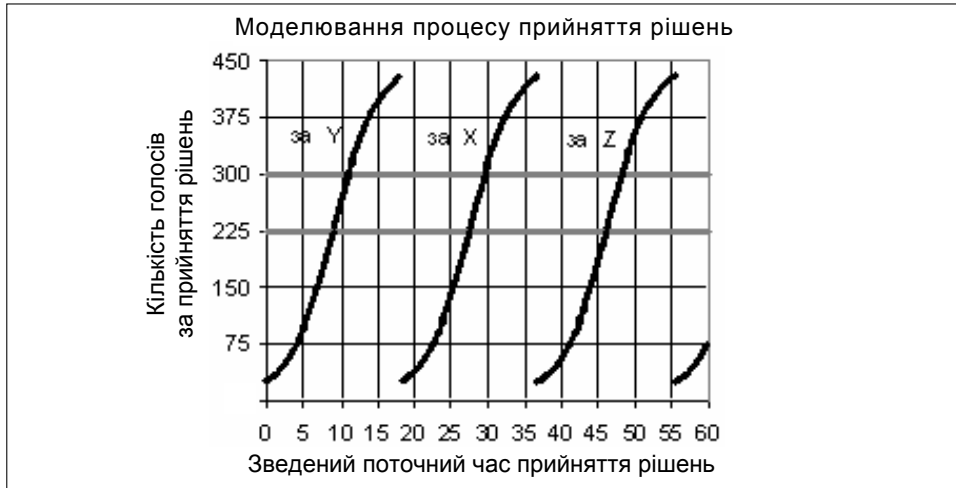


Рис. 7. Прийняття рішень за паритету ідей

Схожість цих ситуацій наводить на думку, що, можливо, не варто тій чи іншій фракції мати в парламенті занадто багато депутатських мандатів, а краще «застрахувати» всіх рівними можливостями. Застрахувати як від монополії однієї ідеї, так і від «меншовартості» інших.

Математично це означає, що усереднені за часовим періодом значення процесів $(x(t), y(t))$ прямують до значень (x_*, y_*) (що формально схоже на зміст ергодичної теореми для стаціонарних ймовірнісних процесів)

$$\frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt = x_*, \quad (41)$$

$$\frac{1}{T} \int_0^T y(t) dt = y_*. \quad (42)$$

Співвідношення (41), (42) характеризують важливу роль оцінок розподілу (x_*, y_*) , за які можна вважати, наприклад, результати соціологічних досліджень.

Часові коливання змінних системи в околі стаціонарної точки мають період [2]

$$\frac{T}{t_c} = \frac{2\pi}{\sqrt{x_* y_* z_*}}. \quad (43)$$

Їх можна трактувати як «шум» або «розпорошення» у часі сталого співвідношення між прихильниками різних ідей. Система не має стійкої орбіти (граничного циклу на кшталт біологічного ритму), до якої мали б збігатися її траєкторії, а це означає, що вона не має механізму компенсації збурень, що й підкреслює її штучність та необхідність керування. Це підтверджує-

ся й аналізом динаміки системи, який виявляє її нейтральну стійкість, тобто перебування на границі стійкості [2].

Зростання амплітуди коливань супроводжується зменшенням значення інтеграла руху (25), (26), що можна трактувати як уповільнення загального темпу процесу. Тобто, з виходом системи на границі області існування (7) можна очікувати зупинку процесу (наприклад, варіант «монополізації» ідей: $x = 0$; $y = 1$; $z = 0$). Отже, чим менша кількість прихильників однієї з трьох ідей, тим повільнішим стає характер спілкування між прихильниками двох інших. А за відсутності прихильників двох ідей (що означає руйнування структури системи) спілкування як процес взагалі припиняється.

ЧИННИК КЕРУВАННЯ

Отже, наявність лише джерела прихильників ідей забезпечує еволюцію системи конкуренції ідей, але не забезпечує її стійкого функціонування. Необхідно враховувати факт взаємодії системи з оточенням. Швидше за все таке втручання або керування (зовнішній вплив) буде використовувати ефект зворотного зв'язку, що можна формалізувати у вигляді

$$\frac{dx}{d\tau} = x[(1 - x_* - y_*)y - y_*(1 - x - y)] + k_x xy(x + y - x_* - y_*), \quad (44)$$

$$\frac{dy}{d\tau} = y[x_*(1 - x - y) - x(1 - x_* - y_*)] + k_y xy(x + y - x_* - y_*), \quad (45)$$

де $k_x = pt_s$; $k_y = qt_s$; p, q — темпи керування (агітації, фінансування, адміністрування, цензури, тиску та ін.).

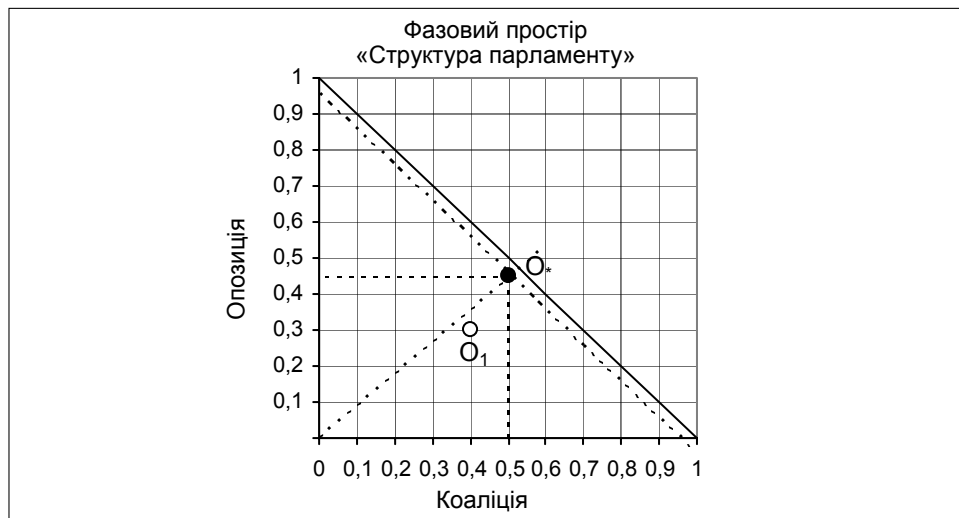


Рис. 8. Керований стан системи конкуренції ідей

Керування (партійна дисципліна, імперативний мандат та інший вплив) змінює структуру системи конкуренції ідей, бо створює ще один, окрім $O_*(x_*, y_*, z_*)$, стаціонарний (керований) стан $O_1(x_1, y_1, z_1)$ (рис. 8). При цьому за одних значень параметрів керування точка O_* може перетворитися

на точку біфуркації, а за інших значень точкою біфуркації стає O_1 . Отже, виникає можливість переходу з одного стану в інший. Параметри керування і координати керованого стану узгоджені таким чином:

$$k_x = \frac{y_* - y_1 - x_1 y_* + x_* y_1}{y_1(x_1 + y_1 - x_* - y_*)}, \quad (46)$$

$$k_y = \frac{x_1 - x_* - x_1 y_* + x_* y_1}{x_1(x_1 + y_1 - x_* - y_*)}, \quad (47)$$

$$p = \frac{\phi_x}{y_1(x_* + y_* - x_1 - y_1)}, \quad (48)$$

$$q = \frac{\phi_y}{x_1(x_* + y_* - x_1 - y_1)}. \quad (49)$$

Стійкість цього стану визначається знаком суми $(k_x + k_y)$. У залежності від знаку стан O_1 може бути стійким, нестійким або нейтрально стійким [2].

На рис. 9, 10 наведено приклад процесу прийняття рішень відповідно до ситуації на рис. 8, де O_1 — стійкий стаціонарний стан типу «стійкий фокус» ($k_x = -1,6$; $k_y = 1,3$; $k_x + k_y = -0,3$).

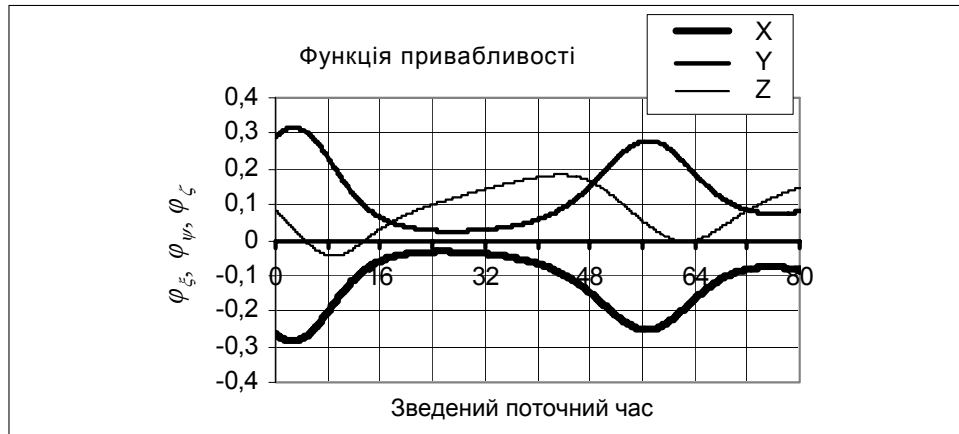


Рис. 9. Функції привабливості стійкого стаціонарного стану

За наявності керування систему конкуренції ідей можна записати через координати стаціонарних станів, які визначаються співвідношеннями (46)–(49)

$$\text{temp } x = \phi_x \left(1 - \frac{y}{y_1} \frac{x + y - x_* - y_*}{x_1 + y_1 - x_* - y_*} \right), \quad (50)$$

$$\text{temp } y = \phi_y \left(1 - \frac{x}{x_1} \frac{x + y - x_* - y_*}{x_1 + y_1 - x_* - y_*} \right). \quad (51)$$

Темпи змінних дорівнюють нулю в стані O_1 і в стані біфуркації O_* , де нулю дорівнюють функції привабливості, що й характеризує в даному

випадку факт інтуїтивного відчуття невизначеності та непередбаченості еволюції «живих» систем.

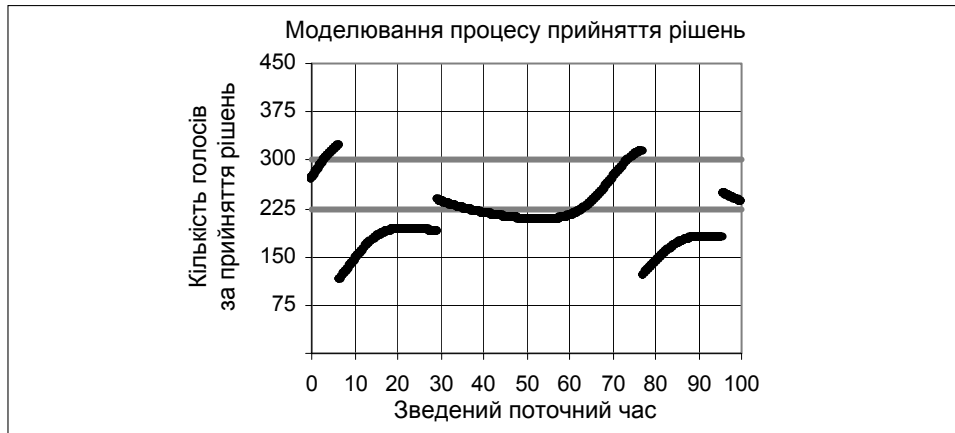


Рис. 10. Прийняття рішень в околі стійкого стаціонарного стану

ВИСНОВКИ

1. Математична модель конкуренції ідей визначається інтегралами збереження (7) та руху (25).

2. Аналіз математичної моделі показує, що різні початкові умови (як наслідок випадковості або зовнішнього впливу у вигляді певної інновації) спричиняють притягання до різних режимів функціонування системи, тобто до різних варіантів вибору.

3. Реалізація конкретного вибору є наслідком його стійкості та перспективності.

4. Основним фактором існування «живих» систем є їхні адаптаційні можливості. При цьому треба зважати на різницю між бажаним та можливим як на фактор взаємодії системи з оточенням.

5. Результат процесу прийняття рішень значною мірою ґрунтується на привабливості того чи іншого варіанту вибору, залежність якої від миттєвого стану системи створює зворотні зв'язки між структурою та еволюцією як основу самоорганізації.

6. Наведену модель прийняття рішень можна використовувати для якісної оцінки ситуацій (зокрема, в парламенті) з метою подальшого прогнозу розвитку подій.

ЛІТЕРАТУРА

1. Николіс Г., Пригожин І. Познання складного. — М.: Мир, 1990. — 342 с.
2. Повещенко Г.П. Динаміка спілкування та регуляції // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2007. — № 4. — С. 125–139.
3. Андрєєв М.В. Лекції з фінансової статистики. Оптимальна стратегія інвестування стосовно купівлі–продажу акцій і облігацій та обміну валют. — Київ: КІБІТ. — 2005. — 215 с.

Надійшла 09.01.2008

ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ,
ВИСОКОПРОДУКТИВНІ КОМП'ЮТЕРНІ
СИСТЕМИ

PROGRESSIVE INFORMATION TECHNOLOGIES,
HIGH-EFFICIENCY COMPUTER SYSTEMS

УДК 519.8

Порівняльний аналіз методів оцінки ризику банкрутства підприємств / Зайченко Ю.П., Рогоза С.В., Столбунов В.А. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 3. — С. 7–20.

Розглянуто проблему аналізу ризику банкрутства підприємств. Описано класичний метод дискримінантного аналізу Е. Альтмана. Проаналізовано достоїнства та недоліки методу. Наведено оцінку можливості його застосування в Україні. Показано нечітко-множинний підхід до оцінки ризику банкрутства. Запропоновано метод аналізу ризику банкрутства підприємств на основі використання нечітких нейронних мереж із різними алгоритмами нечіткого висновку. Наведено результати порівняльного аналізу різних методів у задачі оцінки ризику банкрутства. Рис.: 3. Табл.: 6. Бібліогр.: 6 назв.

UDC 519.8

Comparative analysis of methods for evaluation of enterprises bankruptcy risk / Zaychenko Yu.P., Rogoza S.V., Stolbunov V.A. // System Research and Information Technologies. — 2009. — № 3. — P. 7–20.

The problem of analysis bankruptcy risk of enterprises is considered. Altmann's classical method of discriminate analysis is described, and its highs and lows are analyzed. Possibility of its application to the Ukrainian economy is estimated. Furthermore, the fuzzy sets approach to bankruptcy risk analysis is described. The application of fuzzy neural networks with different algorithms of fuzzy inference is considered. The results of comparative investigations of different methods for bankruptcy analysis are presented. Figs: 3. Tabl.: 6. Refs: 6 titles.

УДК 004.421

Контекстно-ассоциативный подход к автоматизированному исправлению орфографических ошибок / Тарасенко В.П., Михайлюк А.Ю., Заболотняя Т.Н. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 3. — С. 21–30.

Показано, что внесение фильтрации вариантов исправления ошибок по семантическому критерию в схему орфокооррекции обеспечивает высокий уровень точности работы программного корректора, а также делает возможным его функционирование в режиме реального времени. Отклонение от традиционной последовательности анализа текстовых данных позволяет проводить контекстно-ассоциативную обработку окружения искаженного слова на любом этапе орфокооррекции. Предложен способ оценки точности работы алгоритма исправления ошибок. Определены актуальные вопросы реализации контекстноориентированной орфокооррекции, которые должны быть изучены при дальнейшей разработке подобных программных средств. Рис.: 2. Библиогр.: 14 назв.

UDC 004.421

Context-associative approach to automated correction of spelling errors / Tarasenko V.P., Mykhailiuk A.Yu., Zabolotnia T.M. // System Research and Information Technologies. — 2009. — № 3. — P. 21–30.

Addition of filtration for versions of errors correction (by the semantic criterion) into the spelling correction scheme provides a high level of programmatic proof-reader accu-

racy and makes its functioning possible. The deviation from the traditional sequence of text data analysis allows one to perform a context-associative processing the surroundings of a distorted word at any stage of spelling correction. Techniques for evaluation of the correction algorithm accuracy are offered and up-to-date problems concerning realization of the context-oriented spelling correction are determined. They will be studied in further work. Figs: 2. Refs: 14 titles.

УДК 004.75

Академічний сегмент української Грід-інфраструктури / Мартинов Є., Свістунов С., Зінов'єв Г. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 3. — С. 31–42.

Український академічний Грід (УАГ) є потужним ресурсом для фундаментальних і прикладних наукових досліджень, які ведуться в Національній академії наук України. Після стислого викладу історії УАГ представлено інформацію про структуру, обчислювальні потужності та актуальні проблеми в роботі академічного Гріда. Підкреслюється роль УАГ у побудові Українського національного Гріда. Наведено приклади співробітництва академічних інститутів з міжнародними Грід-проектами та організаціями, зокрема, з європейськими. Обговорюються перспективи розвитку академічного і національного Гріда у вирішенні наукових і прикладних завдань у різних сферах застосування Грід-технологій. Рис.: 2. Бібліогр.: 10 назв.

УДК 004.75

Академический сегмент украинской Грид-инфраструктуры / Мартынов Е., Свистунов С., Зиновьев Г. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 3. — С. 31–42.

Украинский академический Грид (УАГ) является мощным ресурсом для фундаментальных и прикладных научных исследований, которые ведутся в Национальной академии наук Украины. После краткого изложения истории УАГ представлена информация о структуре, вычислительных мощностях и актуальных проблемах в работе академического Грида. Подчеркнута роль УАГ в создании Украинского национального Грида. Приведены примеры сотрудничества академических институтов с международными Грид-проектами и организациями, в частности, европейскими. Обсуждаются перспективы развития академического и национального Грида в решении научных и прикладных задач в различных сферах применимости Грид-технологий. Рис.: 2. Библиогр.: 10 назв.

УДК 519.86

Оценивание рисков дефолта и реальных опционов / Гончар Н.С., Терентьева Л.С. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 3. — С. 43–51.

Предложен новый метод оценивания рисков дефолта и реальных опционов, состоящий в том, что инвестор как источник финансирования, имея некоторую информацию о работе фирмы, оценивает возможность ее дефолта. Библиогр.: 7 назв.

UDC 519.86

Estimation of default risks and real options / Honchar N.S., Terentyeva L.S. // System Research and Information Technologies. — 2009. — № 3. — P. 43–51.

A new method for estimation on default risks and real options is proposed: an investor, as a source of financing, has certain information about functioning the company and estimates its probability of default. Refs: 7 titles.

УДК 681.61

Модельовання Grid-вузла на основі мереж Петрі / Шелестов А.Ю. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 3. — С. 52–65.

Досліджується вузол Grid-системи із застосуванням апарату мереж Петрі. Побудовано модель роботи вузла та досліджено її структурні властивості. Показано, що побудована мережа є обмеженою, живою та не містить недосяжних позицій. Проведено аналіз умов виконання властивостей взаємного виключення та рівноправ'я. Рис.: 4. Табл.: 3. Бібліогр.: 18 назв.

UDC 681.61

Grid node modeling based on Petri networks / Shelestov A.Yu. // System Research and Information Technologies. — 2009. — № 3. — P. 52–65.

The node of Grid system was investigated using the Petri network approach. A model of the working node was constructed and its structural properties were investigated. In particular, it is shown that the constructed network is bounded, alive and free of inaccessible places. Analysis of the mutex and fairness properties was performed for the model. Figs: 4. Tabl.: 3. Refs: 18 titles.

УДК 519.7:007.52

Ідентифікація знань в електронних бібліотеках / Канищева О.В. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 3. — С. 66–69.

Розглянуто метод компараторної ідентифікації як один із логічних методів Data Mining для розв'язання задач обробки текстів природної мови у автоматизованих інформаційних бібліотечних системах. Бібліогр.: 6 назв.

UDC 519.7:007.52

Knowledge identification in e-libraries / Kanishcheva O.V. // System Research and Information Technologies. — 2009. — № 3. — P. 66–69.

The method of comparator identification is considered as one the logical methods of Data Mining. It is used to solve problems of processing natural language texts in automated information library systems. Refs: 6 titles.

ПРОБЛЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ І
УПРАВЛІННЯ В ЕКОНОМІЧНИХ, ТЕХНІЧНИХ,
ЕКОЛОГІЧНИХ І СОЦІАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

DECISION MAKING AND CONTROL IN
ECONOMIC, TECHNICAL, ECOLOGICAL AND
SOCIAL SYSTEMS

УДК 519.854.2

Ієрархічне планування в системах, що мають мережне представлення технологічних процесів й обмежені ресурси, як задача прийняття рішень / Згуровський М.З., Павлов О.А. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 3. — С. 70–75.

Досліджується проблема ефективного планування в системах з мережним представленням технологічних процесів й обмеженими ресурсами. Обґрунтовується використання ієрархічних моделей планування. Показано, що навіть ефективне розв'язання задачі за одним скалярним критерієм є лише початковим етапом реалізації ефективного планування як задачі прийняття рішень із погано формалізованою глобальною метою. Бібліогр.: 26 назв.

UDC 519.854.2

Hierarchic planning with network representation of technological processes and limited resources as a Decision Making Problem / Zgurovsky M.Z., Pavlov A.A. // System Research and Information Technologies. — 2009. — № 3. — P. 70–75.

The effective planning problem in systems with network representation of technological processes and limited resources is researched. The use of hierarchic planning

models is grounded. It has been shown that even the effective problem solution by one scalar criterion is only the first stage of effective planning realization as a decision making problem with a poorly formalized global goal. Refs: 26 titles.

ПРОБЛЕМНО І ФУНКЦІОНАЛЬНО ОРІЄНТОВАНІ
КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ

PROBLEM- AND FUNCTION-ORIENTED
COMPUTER SYSTEMS AND NETWORKS

УДК 519.872

Чисельний метод аналізу моделі безпроводової мережі зв'язку із складною схемою резервування каналів та чергами / Меліков А.З., Велібеков А.М. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 3. — С. 76–89.

Запропоновано прості обчислювальні процедури для приблизного розрахунку показників якості обслуговування у безпроводових сотових мережах зв'язку при незіольованій схемі резервування каналів для «нетерплячих» хендовер-викликів. Нові виклики можуть чекати у скінченній або нескінченній черзі. Запропоновані процедури мають високу точність для макросоти і мікросоти, у яких інтенсивності трафіків нових та хендовер-викликів суттєво відрізняються. Наведено результати чисельних експериментів для розрахунку моделей. Рис.: 6. Табл.: 1. Бібліогр.: 9 назв.

UDC 519.872

Numerical method for analysis of wireless communication networks with complex scheme of channels reservation and queues / Melikov A.Z., Velibekov A.M. // System Research and Information Technologies. — 2009. — № 3. — P. 76–89.

Simple computational procedures for approximate calculation of the quality rating of service in wireless cellular networks with a shared reservation scheme for impatient handover calls are proposed. New calls are waiting in either finite or infinite queue. The proposed procedures have high accuracy in both macro- and micro- cells in which the intensities of new and handover traffics are markedly different. Results of numerical experiments are presented. Figs: 6. Tabl.: 1. Refs: 9 titles.

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ, ОПТИМАЛЬНЕ
УПРАВЛІННЯ І ТЕОРІЯ ІГОР

METHODS OF OPTIMIZATION, OPTIMUM
CONTROL AND THEORY OF GAMES

УДК 519.853

Метод лінеаризації та негладка оптимізація / Ненахов Е.І., Соболєнко Л.О. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 3. — С. 90–104.

Розглядаються дві модифікації нестандартного застосування методу лінеаризації до розв'язування негладких оптимізаційних задач. На основі модифікації для задач обернено-опуклого програмування розроблено пакет прикладних програм Packing. Показано ефективність роботи пакета і цієї модифікації на прикладах різних задач пакування та розміщення об'єктів. Рис.: 5. Табл.: 7. Бібліогр.: 11 назв.

UDC 519.853

Linearization method and unsmooth optimization / Nenakhov E.I., Sobolenko L.A. // System Research and Information Technologies. — 2009. — № 3. — P. 90–104.

Two modifications of nonstandard application of linearization method to solve unsmooth optimization problems are considered. On the basis of its modification for solve problems of back-convex programming, there has been developed an applied programs packet called Packing. The effectiveness of the packet and its modifications is illustrated by examples of different packing and arrangement of the objects. Figs: 5. Tabl.: 7. Refs: 11 titles.

УДК 656.135.073:63

Методология определения оптимальных технологических параметров транспортной инфраструктуры при обслуживании зерновых грузопотоков / Абрамчук Л.М. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 3. — С. 105–111.

Комплексно проанализирована на примере функционирования многоканальной динамической системы с конечным числом степеней свободы возможность улучшения экономических показателей транспортной системы при согласовании инфраструктурных параметров для обслуживания предприятий элеваторно-складского хозяйства. Охарактеризована зависимость числового значения логистических расходов в системе с двумя узлами обслуживания. Рис.: 1. Табл.: 1. Библиогр.: 5 назв.

UDC 656.135.073:63

Methodology for determination of optimum technological parameters of transport infrastructure in maintenance of corn traffics of goods / Abramchuk L.M. // System Research and Information Technologies. — 2009. — № 3. — P. 105–111.

In possibility of improving the economic indicators of a transport system is fully analyzed in the concordance of infrastructural parameters for maintenance of elevator-store enterprises with using, as an example, functioning of a multichannel dynamic system with the finite number of degrees of freedom. The numerical value of logistic charges for the system with two knots is described. Figs: 1. Tabl.: 1. Refs: 5 titles.

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ, ПРОБЛЕМИ І
ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНИХ
СИСТЕМ

MATHEMATICAL METHODS, MODELS,
PROBLEMS AND TECHNOLOGIES FOR
COMPLEX SYSTEMS RESEARCH

УДК 504.052

Фрактальные «портреты» структур коллективных остаточных знаний / Ясинский В.В. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 3. — С. 112–116.

Установлено, что с течением времени коллективные знания трансформируются в некоторую устойчивую информационную структуру фрактальной конфигурации, которую можно интерпретировать как некоторый фазовый «портрет» структуры коллективных остаточных знаний. Исследование основывается на системном обобщении результатов многолетнего комплексного мониторинга качества учебного процесса в НТУУ «КПИ». Рис.: 1. Библиогр.: 9 назв.

UDC 504.052

Fractal «profiles» of schemes of collective remaining knowledge / Yasinsky V.V. // System Research and Information Technologies. — 2009. — № 3. — P. 112–116.

Collective knowledge is shown to be transformed with time into a stable information scheme of fractal configuration which can be interpreted as a phase «profile» of the scheme of collective remaining knowledge. The research is based on the systemic generalization of the results of long-term comprehensive monitoring of the teaching process quality in the NTUU «KPI». Figs: 1. Refs: 9 titles.

УДК 519.713: 631.411.6

Визначення структури корпоративної екологічної системи та ідентифікація її стану / Козуля Т.В., Шаронова Н.В. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 3. — С. 117–129.

Викладено теоретико-практичні засади необхідності та доцільності введення в систему прийняття управлінського рішення корпоративної екологічної системи.

Показано її структуру. Запропоновано математичні підходи щодо визначення характеристик стану цієї системи, а як міру якості прийняття управлінського рішення в системі екологічного моніторингу використовувати ентропію. Рис.: 3. Бібліогр.: 8 назв.

UDC 519.713: 631.411.6

Corporative ecological system and identification of its condition / Kozulia T.V., Sharonova N.V. // *System Research and Information Technologies* — 2009. — № 3. — P. 117–129.

Theory-practical bases of the necessity and expediency of the corporative ecological system introduction into the system of management decision making are given and its structure is shown. Mathematical approaches to the determination of characteristics of the system condition and use of entropy as a measure of the quality of the administrative decision making in the system of ecological monitoring are proposed. Figs: 3. Refs: 8 titles.

НОВІ МЕТОДИ В СИСТЕМНОМУ АНАЛІЗІ,
ІНФОРМАТИЦІ ТА ТЕОРІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

NEW METHODS IN SYSTEM ANALYSIS, COMPUTER
SCIENCE AND THEORY OF DECISION MAKING

УДК 581.52

Модель привлекательности выбора и принятия решений / Повещенко Г.П. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 3. — С. 130–142.

Рассматривается математическая модель принятия решений с использованием функций привлекательности выбора, построенная на основе интеграла сохранения, учитывающего ограниченность ресурсов для существования системы конкуренции идей, и интеграла движения, ограничивающего суммарный темп системы. Приведен пример моделирования процесса принятия решений в парламенте с точки зрения обычного наблюдателя, не знакомого с «закулисными» факторами. Рис.: 10. Библиогр.: 3 назв.

UDC 581.52

Model of attractiveness of choice and decision making / Poveshchenko G.P. // *System Research and Information Technologies*. — 2009. — № 3. — P. 130–142.

A mathematical model of decision making with using function of attractiveness of choice is considered. It is constructed on the basis of both the integral of conservation, which takes into account the insufficiency of resources for the ideas competition system to exist, and the integral of motion, which limits the total rate of the system. An example of modeling of decision making process in a parliament from the viewpoint of common watcher is presented. Figs: 10. Refs: 3 titles.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Абрамчук Людмила Миколаївна,

асистент кафедри транспортних технологій Національного транспортного університету, Україна, Київ

Велібєков Амір Махмуд огли,

аспірант Інституту інформаційних технологій НАН Азербайджану, Баку

Гончар Микола Семенович,

професор, доктор фізико-математичних наук, завідувач відділу математичного моделювання Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Київ

Заболотня Тетяна Миколаївна,

молодший науковий співробітник, асистент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем факультету прикладної математики Національного технічного університету України «КПІ», Україна, Київ

Зайченко Юрій Петрович,

професор, доктор технічних наук, професор Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

Згуровський Михайло Захарович,

академік НАН України, професор, доктор технічних наук, ректор Національного технічного університету України «КПІ», директор Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

Зінов'єв Геннадій Михайлович,

професор, завідувач відділу фізики високих щільностей енергії Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Київ

Каніщева Ольга Валеріївна,

аспірант кафедри інтелектуальних комп'ютерних систем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Україна, Київ

Козуля Тетяна Володимирівна,

кандидат географічних наук, доцент кафедри автоматизованих систем управління Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Україна, Київ

Мартинов Євген Сергійович,

доктор фізико-математичних наук, завідувач лабораторії грид-обчислень у фізиці Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Київ

Меліков Агасі Зарбалі огли,

член-кореспондент НАН Азербайджану, професор, доктор технічних наук, завідувач лабораторії Інституту кібернетики НАН Азербайджану, Баку

Михайлюк Антон Юрійович,

старший науковий співробітник, кандидат технічних наук, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем факультету прикладної математики Національного технічного університету України «КПІ», Україна, Київ

Ненахов Едуард Іванович,

провідний науковий співробітник, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Інституту кібернетики ім. В.М. Глушкова НАН України, Київ

Павлов Олександр Анатолійович,

академік Академії наук вищої школи, професор, доктор технічних наук, декан факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України «КПІ», Київ

Повещенко Геннадій Павлович,

старший науковий співробітник, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

Рогоза Світлана Валеріївна,

магістр Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

Свістунів Сергій Якович,

кандидат технічних наук, старший науковий співробітник Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Київ

Соболенко Лідія Опанасівна,

старший науковий співробітник, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

Столбунов Володимир Андрійович,

аспірант Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

Тарасенко Володимир Петрович,

професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем факультету прикладної математики Національного технічного університету України «КПІ», Україна, Київ

Терент'єва Людмила Сергіївна,

аспірант відділу математичного моделювання Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Київ

Шаронова Наталія Валеріївна,

професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри інтелектуальних комп'ютерних систем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Україна, Київ

Шелестов Андрій Юрійович,

старший науковий співробітник, кандидат технічних наук, доцент Інституту космічних досліджень НАН та НАКА України, Київ

Ясінський Василь Васильович,

професор, кандидат фізико-математичних наук, директор Інституту моніторингу якості освіти Національного технічного університету України «КПІ», докторант Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

для журналу

«СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

1. Стаття з анотаціями подається у двох варіантах: **роздрукована** (на папері формату А4 через 1,5 інтервали у двох примірниках, розмір шрифту 12 пт., поля зліва та справа по 3 см) та у **електронному** вигляді.

Анотація (не більше 5-6 рядків) подається трьома мовами: російською, українською і англійською.

2. Текст статті набирається у редакторі Microsoft Word 98 (або пізнішої версії) шрифтом Times New Roman із вирівнюванням по ширині.

3. На початку статті вказується індекс УДК, назва статті, ініціали та прізвище автора (авторів).

4. Список літератури подається у порядку посилання після тексту статті.

5. Набір формул здійснюється у редакторі формул «Equations».

6. Символи у формулах (крім особливих випадків) набираються курсивом. Допускаються прямі символи, але їх треба розмітити або включити до списку спеціальних символів.

7. Нумерувати тільки ті формули (винесені на середину рядків), на які є посилання у тексті.

8. Таблиці та рисунки виконуються в одному стилі, їм надаються номер, назва і розташовують після посилань у тексті. Не слід повторювати у статті підписи до рисунків та таблиць.

9. Стаття разом із таблицями, рисунками і списком літератури має бути не більше 15 сторінок. Оглядові статті обсягом до 25 стор. приймаються за домовленістю із редколегією.

10. До рукопису додаються відомості про кожного автора: країна, місто, місце роботи, службова посада, вчений ступінь та звання, сфера наукових досліджень, контактні телефони, адреса та e-mail.