

СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

№ 2

2011

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

Г.-В. ВЕБЕР, проф., Турція

Р. ВОРОНКА, проф., США

С.М. ГРИША, 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.

О.А. ПАВЛОВ, проф., д. т. н.

В.Н. РЕДЬКО, акад. НАН України

Т.Л. СААТІ, проф., США

Л. САКАЛАУСКАС, проф., Литва

І.В. СЕРГІЄНКО, акад. 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.: **406-81-44**; Факс: **406-81-44**

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

<http://journal.iasa.com.ua>

У номері:

• **Автоматизовані системи управління**

• **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

№ 2

2011

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
member of NASU

A.V. ANISIMOV, Prof., Ukraine

V.G. BONDARENKO Prof., Ukraine

Z. BONNIN, Prof., France

S.N. GRISHA, Prof., Ukraine

A.D. GVISHIANI Prof., Russia

V.I. KOSTJUK, Prof., Ukraine

V.M. KUNTHEVICH, Academician of NASU

G.M. LUTSKY, Prof., Ukraine

A.S. MAKARENKO Prof., Ukraine

A.A. MOLCHANOV, Prof., Ukraine

A.A. PAVLOV, Prof., Ukraine

V.N. REDKO, Academician of NASU

T.L. SAATY, Prof., USA

L. SAKALAIUSKAS Prof., Lithuania

I.V. SERGIENKO, Academician of NASU

V.P. TARASENKO, Prof., Ukraine

R. VORONKA, Prof., USA

G.-W. WEBER Prof., Turkey

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
Phone: **406-81-44**; Fax: **406-81-44**
E-mail: journal@mmsa.ntu-kpi.kiev.ua
<http://journal.iasa.com.ua>

In the issue:

- **Automated control systems**
- **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.

Завідуюча редакцією **С.М. Шевченко**

Редактор **А.О. Млечко**

Молодший редактор **В.М. Литвин**

Комп'ютерна верстка та набір **А.А. Патіоха**

Підписано до друку 16.06.2011. Формат 70x108/16.

Папір офс. Офс. друк. Ум. друк. арк. 14. Ціна договірна.

Свідоцтво про реєстрацію КВ № 13804–2778 ІПР 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 Zaharovich 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

2 • 2011

ЗМІСТ

АВТОМАТИЗОВАНІ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ

Романенко В.Д., Мілявський Ю.Л. Координуюче керування багатовимірним об'єктом із різномовною дискретизацією в стохастичному середовищі 7

ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ВИСОКОПРОДУКТИВНІ КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ

Редько Е.В., Подладчикова Т.В., Подладчиков В.Н. Повышение эффективности оценивания параметров распределения в условиях ограниченной экспериментальной информации 21

Четырбок П.В. Инвариантность по скалярному критерию распознавания образов 28

Бессараб В.И., Зайцева Э.Е., Коваленко Е.Г. Использование аппарата идемпотентных алгебр для анализа процессов в сети с предоставлением интегрированных услуг 35

Замаруєва І.В., Бадьоріна Л.М. Метод кількісного оцінювання відповідей у системах тестування знань відкритого типу 41

ПРОБЛЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ І УПРАВЛІННЯ В ЕКОНОМІЧНИХ, ТЕХНІЧНИХ, ЕКОЛОГІЧНИХ І СОЦІАЛЬНИХ СИСТЕМАХ

Зак Ю.А. Количественные методы обработки мнений экспертов при оценке качества и перспективности представленных для финансирования инновационных проектов 47

Крючковский В.В., Ходаков Д.В. Реализация принятых решений 62

Махорт А.П. Про вибір стратегії оподаткування в економічній системі за наявності монополістів 76

ПРОБЛЕМНО І ФУНКЦІОНАЛЬНО ОРІЄНТОВАНІ КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ

Руденко С.С., Буждиган О.Я. Оцінка стійкості екосистем на основі аналізу рольових трофічних мереж 88

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ, ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ І ТЕОРІЯ ІГОР

Левченко С.Г., Прус Р.Б. Оптимізаційні економічні задачі в системах захисту інформації 98

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ, ПРОБЛЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Редько І.В., Снігур Н.М. Алгебраїчна характеристика класу графових перетворень ... 104

Кисленко Ю.І. Збереження цілісності відтворюваного на шляху вербалізації окремого фрагмента дійсності 115

НОВІ МЕТОДИ В СИСТЕМНОМУ АНАЛІЗІ, ІНФОРМАТИЦІ ТА ТЕОРІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Шаховська Н.Б. Формальне подання простору даних у вигляді алгебраїчної системи 128

НАУКОВА ІНФОРМАЦІЯ

Круглый стол по обсуждению концепции международной научно-исследовательской программы 141

Реферати 143

Відомості про авторів 149

SYSTEM RESEARCH AND INFORMATION TECHNOLOGIES

2 • 2011

CONTENTS

AUTOMATED CONTROL SYSTEMS

- Romanenko V.D., Milyavsky Y.L.* Multivariate object coordinating control with multirate sampling in stochastic environment 7

PROGRESSIVE INFORMATION TECHNOLOGIES, HIGH-EFFICIENCY COMPUTER SYSTEMS

- Redko I.V., Podladchikova T.V., Podladchikov V.N.* Increasing of estimation efficiency for parameters of distribution of limited experimental data 21
- Chetyrbok P.V.* Invariance by scalar criterion of images recognition 28
- Bessarab V.I., Zaytseva E.Ye., Kovalenko E.G.* Usage of the apparatus of idempotent algebra for the analysis of the processes in network with the provision of integrated services 35
- Zamarueva I.V., Badorina L.M.* Method of quantitative answers assessment in the knowledge testing system of open type 41

DECISION MAKING AND CONTROL IN ECONOMIC, TECHNICAL, ECOLOGICAL AND SOCIAL SYSTEMS

- Zak Yu.O.* Quantitative methods of the expert views processing, while assessing the quality and availability submitted for financing innovative projects 47
- Kriuchkovsky V.V., Khodakov D.V.* Implementation of decisions 62
- Makhort A.P.* On the choice of the taxation policy in the economic system if monopolists exist 76

PROBLEM- AND FUNCTION-ORIENTED COMPUTER SYSTEMS AND NETWORKS

- Rudenko S.S., Bujdigan O.Ya.* Assessment of the ecosystems sustainability based on the role food web analysis 88

METHODS OF OPTIMIZATION, OPTIMUM CONTROL AND THEORY OF GAMES

- Levchenko E.G., Prus R.B.* Economic optimization problems in data security systems 98

MATHEMATICAL METHODS, MODELS, PROBLEMS AND TECHNOLOGIES FOR COMPLEX SYSTEMS RESEARCH

- Redko I.V., Snigur N.N.* Algebraic characteristic of the graph modifiers class 104
- Kislenko Yu.I.* Preservation of the integrity of the displayed on the way of verbalization separate fragment of reality 115

NEW METHODS IN SYSTEM ANALYSIS, COMPUTER SCIENCE AND THEORY OF DECISION MAKING

- Shakhovska N.B.* A formal representation of the data space in the form of algebraic system 128

SCIENTIFICS INFORMATION

- Round table for the discussion of the international research program concept* 141
- References 143
- Information about the authors 149

УДК 62-50

**КООРДИНУЮЧЕ КЕРУВАННЯ БАГАТОВИМІРНИМ
ОБ'ЄКТОМ ІЗ РІЗНОТЕМПОВОЮ ДИСКРЕТИЗАЦІЄЮ
В СТОХАСТИЧНОМУ СЕРЕДОВИЩІ**

В.Д. РОМАНЕНКО, Ю.Л. МІЛЯВСЬКИЙ

Поставлено та вирішено задачу оптимального керування співвідношеннями між вихідними координатами багатовимірного різномірного об'єкта в стохастичному середовищі. Розглянуто основні схеми побудови системи керування, критерії оптимальності для таких систем, а також розроблено алгоритм цифрового керування на основі зведення задачі багатокритеріальної безумовної оптимізації до однокритеріальної умовної оптимізації. Наведено результати чисельного моделювання, що підтверджують практичну цінність цієї розробки.

ВСТУП

Задача керування співвідношеннями вихідних координат об'єкта (координуючого керування) у стохастичному середовищі є новою задачею в теорії керування. Усі відомі на сьогодні розробки, які стосуються координуючого керування, працюють у детермінованому середовищі. У той же час більшість об'єктів, що зустрічаються на практиці, мають стохастичну природу, тому задача керування співвідношеннями має вирішуватись і в такій постановці. Актуальність поставленої в роботі задачі зростає також унаслідок того, що нині системи керування починають все частіше застосовувати для управління соціальними, економічними, екологічними та іншими системами, які майже завжди мають стохастичну природу, для яких саме виконання певних базових співвідношень між координатами є першочерговим завданням. Різна частота дискретизації вимірів різних показників у таких системах також є поширеним явищем, тому за основу було взято різномірову модель об'єкта керування.

Мета роботи — розробка критеріїв, схем та методу керування співвідношеннями вихідних координат динамічного об'єкта в стохастичному середовищі при різноміровій дискретизації.

Слід зазначити, що ті методи, які на сьогодні розроблені для координуючого керування детермінованими об'єктами [1, 2], складно застосувати у стохастичному випадку. Це пов'язано, в першу чергу, з тим, що в цьому випадку неможливо вимагати чіткого виконання заданих співвідношень між координатами, оскільки всі сигнали є випадковими. Тому логічно запропонувати критерій мінімуму дисперсії заданого співвідношення за аналогією з

критерієм мінімуму дисперсії власне вихідної координати. Зрозуміло, що розв'язок задачі мінімізації дисперсії співвідношення буде не єдиним, так само, як і в детермінованому випадку. Тому, крім мінімізації цього базового критерію для однозначності розв'язку необхідно застосовувати також інший критерій. Природним критерієм є загальноприйнятий критерій мінімуму дисперсії різниці вихідних координат та задавальних діянь. Але, в загальному випадку, як буде видно з подальшого викладу, ці два критерії (за дисперсією співвідношення та дисперсією вихідної координати) мають різні точки мінімуму. Тобто, виникає задача багатокритеріальної оптимізації в стохастичному середовищі.

РОЗРОБКА АЛГОРИТМУ КООРДИНУЮЧОГО КЕРУВАННЯ

Нехай об'єкт керування задано у формі багатовимірної різнотемпової моделі ARMAX (Autoregressive moving average with exogenous input — авторегресії та ковзного середнього із додатковим вхідним сигналом) з малим періодом дискретизації збурень і великим періодом дискретизації вихідних координат і керування [3]:

$$A(z_1^{-1})Y(rh) = B(z_1^{-1})u(rh) + C(z^{-1})\zeta(kT_0), \quad (1)$$

де $A(z_1^{-1}) = I - A_1z_1^{-1} - \dots - A_pz_1^{-p}$, $B(z_1^{-1}) = B_1z_1^{-1} + B_2z_1^{-2} \dots + B_qz_1^{-q}$,

$$C(z^{-1}) = C_0 + C_1z^{-1} + \dots + C_s z^{-s},$$

$$s \geq m, \quad z_1^{-1} = z^{-m}, \quad h = mT_0, \quad r = \left[\frac{k}{m} \right], \quad \dim Y = \dim u = \dim \zeta = n,$$

де всі матриці квадратні ($n \times n$), h та T_0 — великий та малий періоди дискретизації відповідно; z^{-1} — оператор зворотного зсуву на один період дискретизації T_0 ; z_1^{-1} — оператор зворотного зсуву на період h ; $\left[\frac{k}{m} \right]$ — ціла частина числа $\frac{k}{m}$.

Для зручності подальших викладок і незалежності від порядків моделі введемо в розгляд таку координату:

$$\begin{aligned} \tilde{Y}((r+1)h) &= Y((r+1)h) - B_1u(rh) - C_0\zeta((k+m)T_0) - \\ &\quad - C_1\zeta((k+m-1)T_0) - \dots - C_{m-1}\zeta((k+1)T_0) = \\ &= A_1Y(rh) + \dots + A_pY((r-p+1)h) + B_2u((r-1)h) + \dots + B_qu((r-q+1)h) + \\ &\quad + C_m\zeta(kT_0) + \dots + C_s\zeta((k+m-s)T_0). \end{aligned} \quad (2)$$

Таким чином, $\tilde{Y}((r+1)h)$ є відомою на момент rh частиною $Y((r+1)h)$.

Введемо спочатку стандартний критерій узагальненої дисперсії відносно вектора задавальних діянь [4, 5]:

$$J_G(r+1) = E\{(Y(r+1) - G(r))^T (Y(r+1) - G(r)) + (u(r) - u(r-1))^T R(u(r) - u(r-1))\} \rightarrow \min . \quad (3)$$

Тут і далі часовий індекс h не вказується, тому що за припущенням задавального діяння є константою принаймні протягом великого періоду дискретизації. На кожному кроці алгоритму r під оператором E розумітимемо умовне математичне сподівання відносно всієї інформації, доступної на момент часу rh включно. Матриця R у (2) припускається симетричною, невід'ємно визначеною і такою, що $B_1^T B_1 + R$ — невироджена.

Для мінімізації (3) розділимо $Y(r+1)$ на відому і невідому частини, як у [5], тобто (враховуючи (2)):

$$Y(r+1) = \tilde{Y}(r+1) + B_1 u(r) + \tilde{\zeta}(r+1),$$

$$\tilde{\zeta}(r+1) = C_0 \zeta((r+1)h) + C_1 \zeta((r+1)h - T_0) + \dots + C_{m-1} \zeta((r+1)h - (m-1)T_0).$$

Тоді критерій (2) можна записати так:

$$J_G(r+1) = (\tilde{Y}(r+1) - G(r) + B_1 u(r))^T (\tilde{Y}(r+1) - G(r) + B_1 u(r)) + (u(r) - u(r-1))^T R(u(r) - u(r-1)) + 2E\{(\tilde{Y}(r+1) - G(r) + B_1 u(r))^T \tilde{\zeta}(r+1)\} + E\{\tilde{\zeta}^T(r+1) \tilde{\zeta}(r+1)\}.$$

Останній доданок не залежить від $u(r)$, і тому похідна від нього по $u(r)$ дорівнює нулю. Передостанній доданок дорівнює нулю, тому що за припущенням вхідний шум має нульове середнє, є некорельованим і не залежить від решти змінних. Отже, перший співмножник можна винести за оператор математичного сподівання, а другий співмножник після цього дорівнюватиме нулю. Для того, щоб взяти похідну від перших двох доданків, скористаємось тим фактом, що похідна по вектору u від виразу типу $(Au + c)^T Q(Au + c)$, де Q — симетрична матриця, c — вектор, дорівнює $2A^T Q(Au + c)$ [7]. Отже,

$$\frac{\partial J_G(r+1)}{\partial u(r)} = 2B_1^T (B_1 u(r) + \tilde{Y}(r+1) - G(r)) + 2R(u(r) - u(r-1)).$$

Прирівняємо до нуля та перенесемо $u(r)$ в праву частину, після чого отримаємо $(B_1^T B_1 + R)u(r) = -B_1^T (\tilde{Y}(r+1) - G(r)) - Ru(r-1)$. Покажемо, що розв'язок цього рівняння є точкою мінімуму. Дійсно, $\frac{\partial^2 J_G(r+1)}{\partial u^2(r)} = 2(B_1^T B_1 + R)$, а $B_1^T B_1 \geq 0$, $R \geq 0$, тому $B_1^T B_1 + R \geq 0$, і за умовою $B_1^T B_1 + R$ — невироджена, тому $\frac{\partial^2 J_G(r+1)}{\partial u^2(r)}$ — додатно визначена, отже, маємо точку мінімуму [6].

Тоді відповідне керування $u_G(r)$ обчислюється за формулою:

$$u_G(r) = -(B_1^T B_1 + R)^{-1} [B_1^T (\tilde{Y}(r+1) - G(r)) - Ru_G(r-1)]. \quad (4)$$

Перейдемо безпосередньо до задачі координуючого керування. Нехай задано набір M співвідношень у вигляді:

$$SY(r) = b, \quad (5)$$

де b — заданий вектор розмірності M ; S — задана матриця розмірності $M \times n$, $M < n$, причому $\text{rang}(SB_1) = M$. Вимога координуючого керування полягає в тому, що співвідношення (5) має виконуватись максимально точно на кожному періоді дискретизації.

Введемо критерій мінімізації дисперсії нев'язки співвідношень:

$$J_b(r+1) = E\{(SY(r+1) - b)^T (SY(r+1) - b)\} \rightarrow \min. \quad (6)$$

Розглянемо проблему вибору задавального діяння G у такій постановці. Запропонуємо три схеми. Згідно зі схемою 1, задавальне діяння подається на вхід незалежно, без зворотного зв'язку, тобто воно визначене наперед (рис. 1), але при цьому має задовольняти співвідношенню (5), тобто $SG(r) = b$. Перевагами схеми 1 є простота та відсутність шумів у вхідних сигналах. Недоліком є те, що задаюче діяння не враховує, чи виконується реально співвідношення між вихідними координатами, тобто вимагається виконання співвідношення лише між ідеальними, бажаними, сигналами, а не між дійсними.

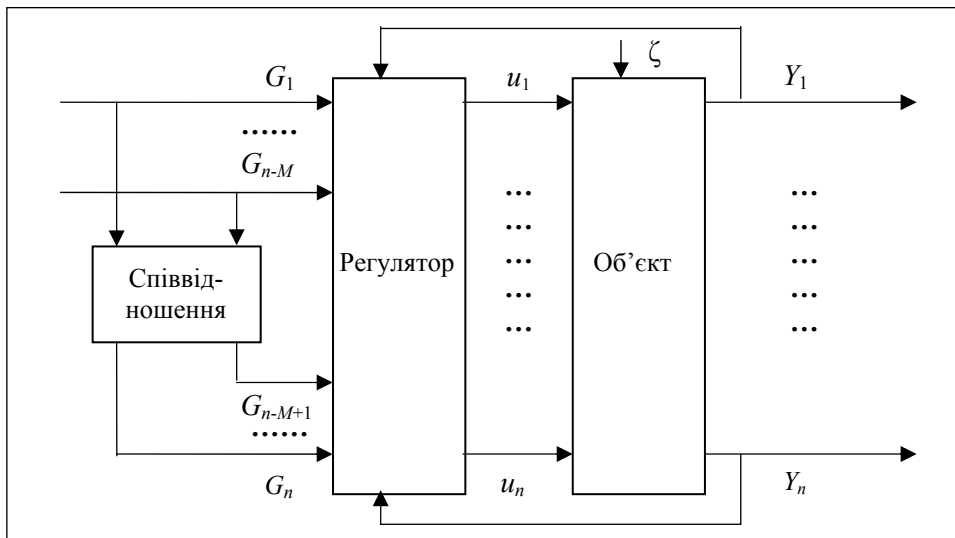


Рис. 1. Схема координуючого керування

Згідно з рис. 2 із фізичних міркувань серед вихідних змінних обирається $n - M$ ведучих і M ведених координат. Оскільки, за припущенням, усі співвідношення лінійно незалежні, то ведені координати можна виразити однозначно як лінійні комбінації ведучих. По прямих каналах ведучих координат подаються певні задавальні діяння (без обмежень), а замість задавальних діянь для ведених координат подаються відповідні лінійні комбінації

ведучих вихідних координат (рис. 2). Перевагою схеми на рис. 2 є той факт, що ми вимагаємо від системи, щоб ведені вихідні координати відповідали

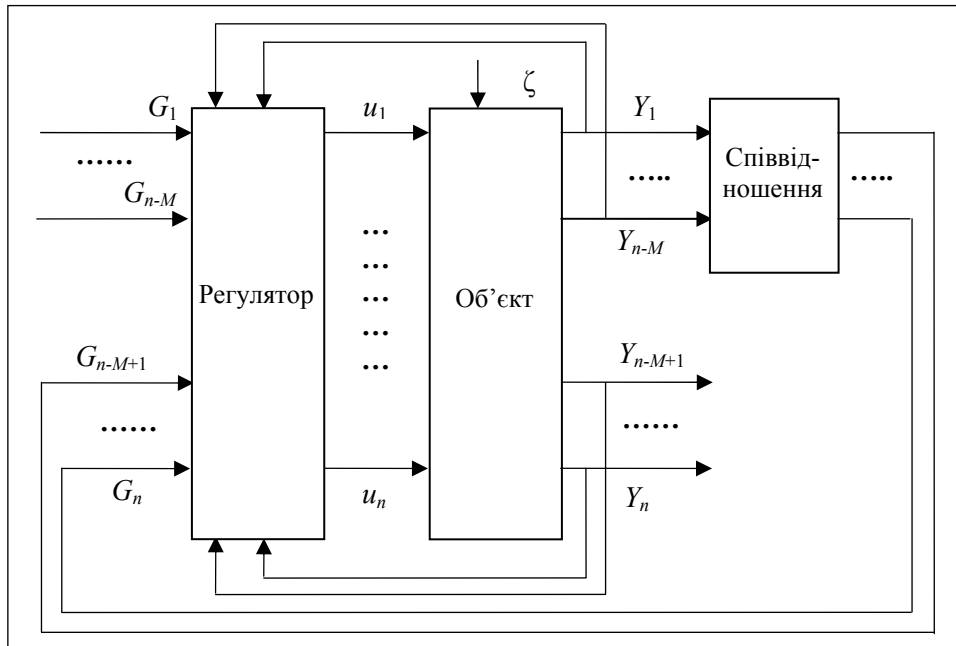


Рис. 2. Схема координуючого керування

необхідним співвідношенням ведучих вихідних координат, тобто виконання співвідношення тепер є не додатковою умовою, поряд із відпрацюванням вхідних сигналів, а основною умовою. Недоліком схеми є зашумленість задавальних діянь для ведених координат (тому що вони формуються на основі ведучих вихідних координат, що містять шум), що збільшує зашумленість системи в цілому. Крім того, вимагається виконання співвідношення між зашумленими сигналами, що не завжди доцільно на практиці. Частіше буває необхідно задовольняти співвідношенню між корисними складовими сигналів.

Схема на рис. 3 будується на основі схеми з рис. 2, але задавальні діяння ведених сигналів проходять через низькочастотні фільтри, перш ніж надійти на входи системи (рис. 3). Оскільки і фільтри, і співвідношення лінійні, то це еквівалентно тому, що вихідні ведучі сигнали фільтруються, і лише після цього обчислюються лінійні комбінації, відповідні веденим сигналам. Структура низькочастотного фільтра тут не відіграє принципової ролі, достатньо ковзного середнього (можливо, зваженого) з невеликим «вікном». Таким чином схема на рис. 3 зберігає переваги схеми з рис. 2, при цьому позбавляючись основного її недоліку — шуму на вході, тому схема з рис. 3 у більшості випадків є найбільш прийнятною. Недоліком її є відносна складність реалізації.

Зауважимо, що для подальших викладок неважливо, за якою із схем отримано задаючі діяння, тобто алгоритм регулятора в залежності від схеми змінювати не потрібно.

Розв'яжемо задачу мінімізації (6) по $u(r)$. Для цього підставимо у (6) замість $Y(r+1)$ вираз (враховуючи (2)):

$$Y(r+1) = \tilde{Y}(r+1) + B_1 u(r) + \tilde{\zeta}(r+1),$$

$$\tilde{\zeta}(r+1) = C_0 \zeta((r+1)h) + C_1 \zeta((r+1)h - T_0) + \dots + C_{m-1} \zeta((r+1)h - (m-1)T_0).$$

Тоді

$$J_b(r+1) = (S\tilde{Y}(r+1) + SB_1 u(r) - b)^T (S\tilde{Y}(r+1) + SB_1 u(r) - b) + 2E\{(S\tilde{Y}(r+1) + SB_1 u(r) - b)^T (S\tilde{\zeta}(r+1))\} + E\{\tilde{\zeta}^T(r+1)S^T S\tilde{\zeta}(r+1)\}.$$

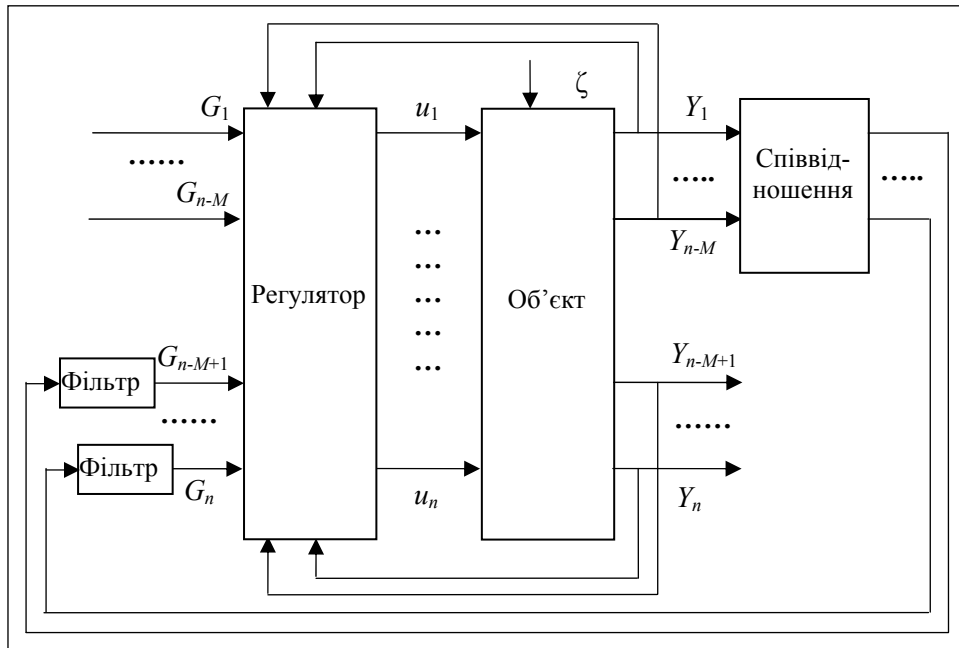


Рис. 3. Схема координуючого керування

Останній доданок не залежить від $u(r)$, і тому його під час мінімізації можна не враховувати. Передостанній доданок дорівнює нулю, тому що за припущенням вхідний шум має нульове середнє, є некорельованим і не залежить від решти змінних, отже, перший співмножник можна винести за оператор математичного сподівання, а другий співмножник після цього дорівнюватиме нулю. Перший доданок дорівнює евклідовій нормі вектора $S\tilde{Y}(r+1) + SB_1 u(r) - b$. Відомо, що норма вектора невід'ємна і дорівнює нулю тоді, і тільки тоді, коли вектор нульовий. Тому, якщо рівняння $SB_1 u(r) = -(S\tilde{Y}(r+1) - b)$ має розв'язок, то цей розв'язок є точкою глобального мінімуму критерію. За умовою, вектор $u(r)$ має розмірність n , $-(S\tilde{Y}(r+1) - b)$ — розмірність $M < n$, і $\text{rang}(SB_1) = M$. Тому за теоремою Кронекера-Капеллі [7] це рівняння має множину розв'язків, на яких і досягається мінімум критерію (6), а саме:

$$SB_1 u(r) = -(S\tilde{Y}(r+1) - b). \tag{7}$$

Взагалі, керування (4) не задовольняє рівності (7). Таким чином, маємо багатокритеріальну задачу оптимізації $u(r)$ по критеріях (3), (6), причому критерій (6) є за умовою більш пріоритетним, але має неоднозначний розв'язок.

МЕТОД УМОВНОЇ МІНІМІЗАЦІЇ ДИСПЕРСІЇ НЕВ'ЯЗКИ СПІВВІДНО-ШЕНЬ ТА УЗАГАЛЬНЕНОЇ ДИСПЕРСІЇ ВИХІДНИХ КООРДИНАТ

У цій роботі пропонується такий метод розв'язання поставленої задачі. Будемо розглядати рівність (7) як обмеження, що має обов'язково виконуватись при мінімізації критерію (3), тобто зведемо задачу безумовної багатокритеріальної оптимізації до задачі умовної однокритеріальної оптимізації.

Задачу умовної оптимізації будемо розв'язувати методом множників Лагранжа [6], а потім застосуємо теорему Фробеніуса для обернення блочної матриці [7]. У результаті отримуємо таку теорему.

Теорема. Нехай об'єкт керування задано у вигляді (1), і необхідно на кожному кроці формувати таке керуюче діяння, яке буде мінімізувати критерій оптимальності (3) при обмеженні (7). Тоді оптимальним буде таке значення $u(r)$:

$$u(r) = -(B_1^T B_1 + R)^{-1} \{ [I - B_1^T S^T L^{-1} S B_1 (B_1^T B_1 + R)^{-1}] + [B_1^T (\tilde{Y}(r+1) - G(r)) - Ru(r-1)] + B_1^T S^T L^{-1} [S\tilde{Y}(r+1) - b] \}, \quad (8)$$

якщо $B_1^T B_1 + R$ та $L = S B_1 (B_1^T B_1 + R)^{-1} B_1^T S^T$ — невироджені, $\tilde{Y}(r+1)$ задається формулою (2).

Доведення. Згідно із методом множників Лагранжа [6] для розв'язання задачі (3), (7) вводимо функцію Лагранжа:

$$l(u(r), \lambda) = J_G(r+1) + \lambda^T (S B_1 u(r) - b + S\tilde{Y}(r+1)),$$

де λ — невідомий вектор-стовпчик розмірності M . Візьмемо похідну, скориставшись правилами матричного диференціювання [7], і прирівняємо її до нуля:

$$\frac{\partial l}{\partial u(r)} = 2(B_1^T B_1 + R)u(r) + 2B_1^T (\tilde{Y}(r+1) - G(r)) - 2Ru(r) + B_1^T S^T \lambda = 0,$$

$$\frac{\partial l}{\partial \lambda} = S B_1 u(r) - b + S\tilde{Y}(r+1) = 0.$$

Щоб розв'язати цю систему, подамо її у блочно-матричній формі:

$$\begin{pmatrix} 2(B_1^T B_1 + R) & B_1^T S^T \\ S B_1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u(r) \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -2B_1^T (\tilde{Y}(r+1) - G(r)) + 2Ru(r-1) \\ -S\tilde{Y}(r+1) + b \end{pmatrix},$$

тоді

$$\begin{pmatrix} u(r) \\ \lambda \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 2(B_1^T B_1 + R) & B_1^T S^T \\ S B_1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} -2B_1^T (\tilde{Y}(r+1) - G(r)) + 2Ru(r-1) \\ -S\tilde{Y}(r+1) + b \end{pmatrix}.$$

Скористаємось теоремою Фробеніуса про обернення блочної матриці [7], згідно з якою $\begin{pmatrix} A & B \\ C & D \end{pmatrix}^{-1} = \begin{pmatrix} A^{-1}(I + BK^{-1}CA^{-1}) & -A^{-1}BK^{-1} \\ -K^{-1}CA^{-1} & K^{-1} \end{pmatrix}$, де вимагається невідродженість A та її доповнення Шура $K = D - CA^{-1}B$. Отже,

$$\begin{pmatrix} 2(B_1^T B_1 + R) & B_1^T S^T \\ SB_1 & 0 \end{pmatrix}^{-1} = \\ = \begin{pmatrix} 0,5(B_1^T B_1 + R)^{-1}[I + 0,5B_1^T S^T K^{-1}SB_1(B_1^T B_1 + R)^{-1}] & -0,5(B_1^T B_1 + R)^{-1}B_1^T S^T K^{-1} \\ -0,5K^{-1}SB_1(B_1^T B_1 + R)^{-1} & K^{-1} \end{pmatrix}, \\ K = -0,5SB_1(B_1^T B_1 + R)^{-1}B_1^T S^T.$$

Зауважимо, що до вже виконаної вимоги невідродженості $B_1^T B_1 + R$ додалась вимога невідродженості K .

Значення множників Лагранжа λ нас не цікавлять, тому випишемо тепер тільки формулу для $u(r)$:

$$u(r) = -0,5(B_1^T B_1 + R)^{-1} \{ [I + 0,5B_1^T S^T K^{-1}SB_1(B_1^T B_1 + R)^{-1}] \times \\ \times 2[B_1^T (\tilde{Y}(r+1) - G(r)) - Ru(r-1)] - B_1^T S^T K^{-1}[S\tilde{Y}(r+1) - b] \}.$$

Щоб позбавитись від множників 2 і 0,5, визначимо $L = SB_1(B_1^T B_1 + R)^{-1}B_1^T S^T$ і після елементарних перетворень отримаємо шукану формулу (8). Теорему доведено.

Розглянемо частковий випадок, коли R — нульова, B_1 — невідроджена і $L = SB_1(B_1^T B_1)^{-1}B_1^T S^T = SS^T$ — невідроджена. Тоді за формулою (8) у цьому частковому випадку, враховуючи, що $(B_1^T B_1 + R)^{-1}B_1^T = B_1^{-1}$, отримаємо:

$$u(r) = -(B_1^T B_1)^{-1} \{ [I - B_1^T S^T (SS^T)^{-1}S(B_1^T)^{-1}]B_1^T (\tilde{Y}(r+1) - G(r)) + \\ + B_1^T S^T (SS^T)^{-1}[S\tilde{Y}(r+1) - b] \} = -(B_1^T B_1)^{-1}B_1^T (\tilde{Y}(r+1) - G(r)) + \\ + B_1^{-1}S^T (SS^T)^{-1}(S\tilde{Y}(r+1) - SG(r)) - B_1^{-1}S^T (SS^T)^{-1}(S\tilde{Y}(r+1) - b).$$

При R — нульовій, із (4) випливає, що перший доданок в останній частині рівності дорівнює $u_G(r)$, тому після взаємознищення доданків з $S\tilde{Y}(r+1)$ отримаємо:

$$u(r) = u_G(r) - B_1^{-1}S^T (SS^T)^{-1}(SG(r) - b). \quad (9)$$

Якщо задавальне діяння задовольняє співвідношення (5), тобто має місце схема 1, то з (9) випливає, що у розглянутому частковому випадку $u(r) = u_G(r)$, тобто розв'язок задачі мінімізації (3) лежить на лінійному

многовиді розв'язків задачі мінімізації (6). Це легко зрозуміти, оскільки: за відсутності обмежень на керування ($R=0$) критерій (3) зводиться до того, щоб якнайкраще наблизити вихідні координати до задавального діяння, а якщо задавальне діяння саме задовольняє співвідношенням (5), то при оптимальному керуванні за критерієм (3) ці співвідношення теж будуть задовольнятись якнайкраще, тобто критерій (6) мінімізуватиметься автоматично. Утім, на практиці звичайно обмеження на керування доводиться накладати, матриця R відмінна від нульової, тоді при керуванні за формулою (4) координуючий критерій (6) може не досягати свого мінімуму (навіть для рис. 1, а тим паче для рис. 2 і 3). Оскільки за умовою задача координації є більш пріоритетною і, в першу чергу, треба досягати саме мінімуму (6), а вже потім за можливістю мінімізувати (3), то в загальному випадку отриманий нами розв'язок (8) є оптимальним для цієї задачі в цілому.

ПРИКЛАД І АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ

Нехай задано двовимірний об'єкт із різномовною дискретизацією типу (1) такого вигляду [8]:

$$A(z_1^{-1}) = I - A_1 z_1^{-1} - A_2 z_1^{-2}, B(z_1^{-1}) = B_1 z_1^{-1} + B_2 z_1^{-2},$$

$$C(z^{-1}) = I + C_1 z^{-1} + C_2 z^{-2} + C_3 z^{-3} + C_4 z^{-4}, \quad h = 2T_0,$$

$$A_1 = \begin{pmatrix} 1,01045 & 0 \\ 0 & 0,78855 \end{pmatrix}, \quad A_2 = \begin{pmatrix} -0,11838 & 0 \\ 0 & -0,11844 \end{pmatrix},$$

$$B_1 = \begin{pmatrix} 0,08637 & 0,27312 \\ -2,09626 & 1,1994 \end{pmatrix}, \quad B_2 = \begin{pmatrix} 0,04312 & 0,13628 \\ -1,03414 & 0,564 \end{pmatrix},$$

$$C_1 = \begin{pmatrix} 1,4333 & 2,1333 \\ 0,55526 & 1,00526 \end{pmatrix}, \quad C_2 = \begin{pmatrix} 0,3455 & 1,5798 \\ -0,36112 & -0,01905 \end{pmatrix},$$

$$C_3 = \begin{pmatrix} -0,17417 & 0,48627 \\ -0,10947 & -0,2035 \end{pmatrix}, \quad C_4 = \begin{pmatrix} -0,0578 & 0,05298 \\ 0,0333 & 0,03716 \end{pmatrix}.$$

Подаватимемо на вхід незалежний гауссівський білий шум ζ зі стандартним відхиленням 0,1. Нехай треба забезпечити виконання співвідношення $Y_1(r) - 2Y_2(r) = 1$, тобто в (5) маємо $S = (1 - 2)$, $b = 1$. Будемо подавати задавальне діяння за схемою рис. 3, оскільки аналіз вище показав, що вона найбільш придатна на практиці. Виберемо першу координату ведучою, другу веденою, і виразимо $Y_2(r) = \frac{Y_1(r) - 1}{2}$. Візьмемо в якості низькочастотного фільтра звичайне ковзне середнє з «вікном», рівним шести великим періодам дискретизації, тобто фільтр має передаточну функцію $\frac{1 + z_1^{-1} + z_1^{-2} + z_1^{-3} + z_1^{-4} + z_1^{-5}}{6}$. Змоделюємо два випадки — систему стабілізації та слідкуючу систему. У системі стабілізації виберемо задавальне

діяння по каналу ведучої координати $G_1 = 7$ (тоді, згідно із заданим співвідношенням, ведена координата має стабілізуватись на рівні 3). У слідкуючій системі візьмемо вхідний сигнал $G_1(r) = 7 \sin \frac{\pi r}{36}$. У критерії (2) нехай

$$R = \begin{pmatrix} 0,15 & 0 \\ 0 & 0,15 \end{pmatrix}.$$

Моделювання виконувалось у середовищі Matlab 7.9.0. Порівняємо алгоритм (8), запропонований у цій роботі, із алгоритмом (4), що базується винятково на критерії (3) без врахування співвідношення, тобто без власне координуючого керування. На рис. 4, 5 показано першу і другу вихідні координати відповідно для системи стабілізації, на рис. 6 показано нев'язку по співвідношенню для цього алгоритму, тобто значення $\varepsilon(r) = Y_1(r) - 2Y_2(r) - 1$.

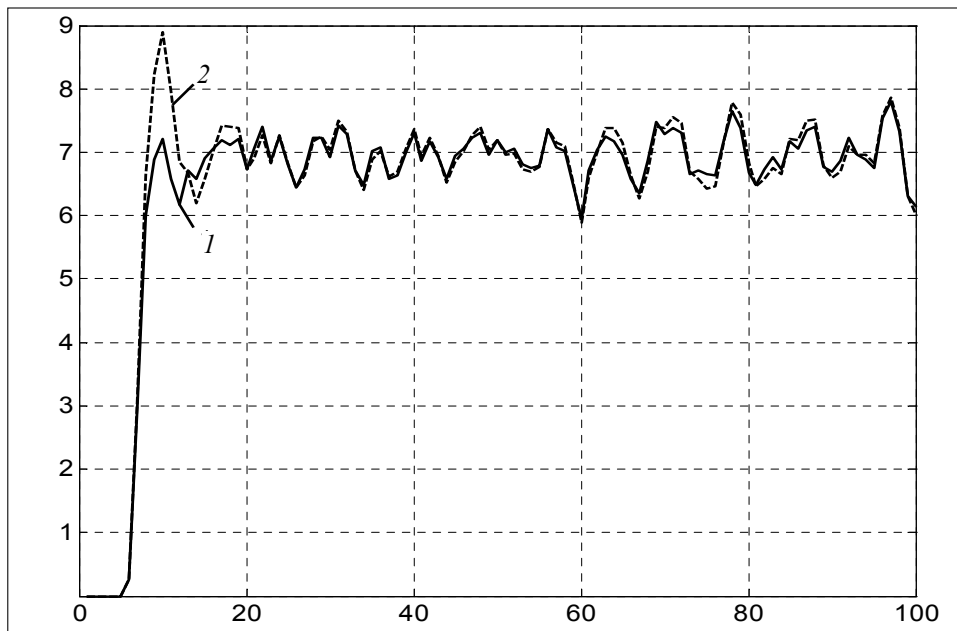


Рис. 4. Моделювання системи стабілізації: 1 — графік $Y_1(r)$ з координацією, 2 — графік $Y_1(r)$ без координації

Щоб отримати чисельну характеристику якості керування, будемо обчислювати оцінки стандартних відхилень (квадратних коренів з дисперсії) вихідних координат від задавальних діянь та стандартних відхилень нев'язки співвідношення за формулами відповідно:

$$\sigma(Y_i) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{r=1}^N (Y_i(r) - G_i(r))^2}, \quad \sigma(\varepsilon) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{r=1}^N (SY(r) - b)^2},$$

де N — кількість великих періодів дискретизації, протягом яких відбувалось моделювання. Отримано такі значення:

Стандартне відхилення $(Y_1 - G_1)$ — 0,404418.

Стандартне відхилення $(Y_2 - G_2)$ — 0,22996.

Стандартне відхилення $(Y_1 - G_1)$ без координації — 0,45776.

Стандартне відхилення $(Y_2 - G_2)$ без координації — 0,2076.

Стандартне відхилення нев'язки — 0,23435.

Стандартне відхилення нев'язки без координації — 0,41521.

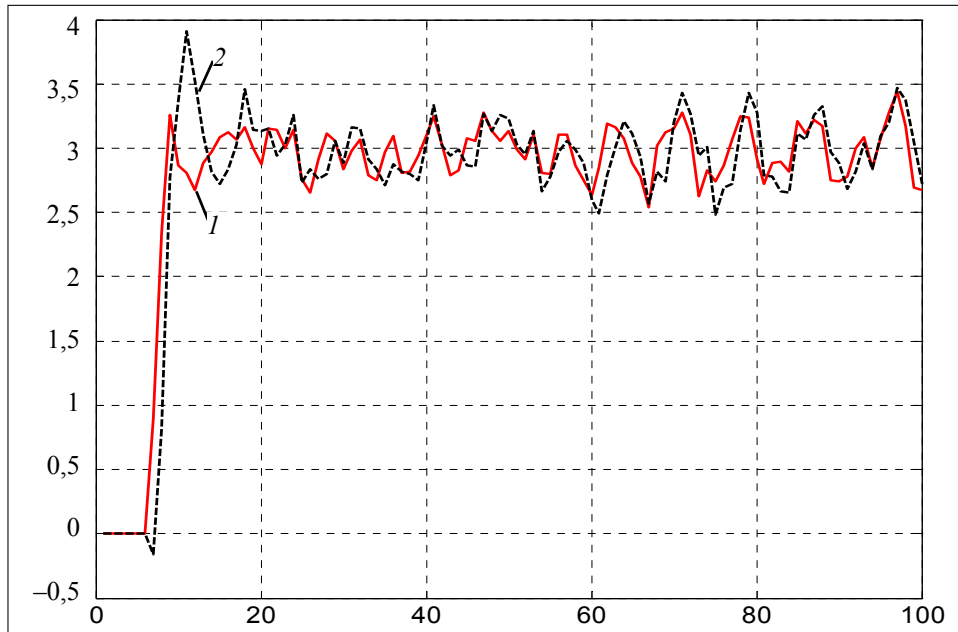


Рис. 5. Моделювання системи стабілізації: 1 — графік $Y_2(r)$ з координацією, 2 — графік $Y_2(r)$ без координації

Із отриманих результатів можна зробити висновок, що врахування співвідношення в критерії оптимальності майже не змінює якість стабілізації системи, але при цьому приблизно в 1,8 разу зменшується стандартне відхилення нев'язки співвідношення. Отже, покращення якості відпрацювання співвідношення, що і було основною метою цієї розробки, досягнуто.

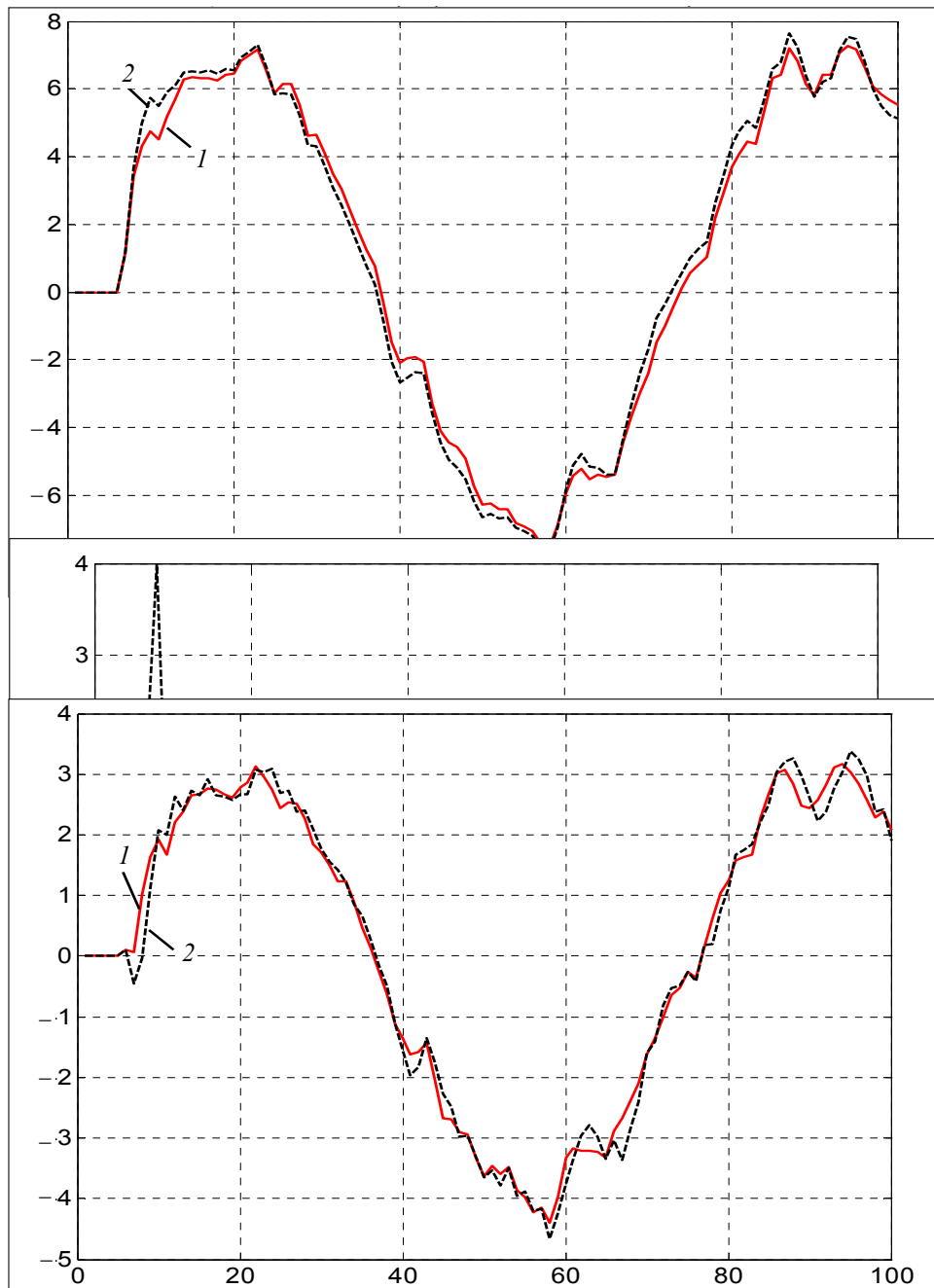


Рис. 8. Модування слідувачої системи: 1 — графік $Y_2(r)$ з координацією, 2 — графік $Y_2(r)$ без координації

- Стандартне відхилення $(Y_1 - G_1)$ — 0,95504.
- Стандартне відхилення $(Y_2 - G_2)$ — 0,56802.
- Стандартне відхилення $(Y_1 - G_1)$ без координації 0,69307.
- Стандартне відхилення $(Y_2 - G_2)$ без координації — 0,3074.
- Стандартне відхилення нев'язки — 0,23615.
- Стандартне відхилення нев'язки без координації — 0,6148.

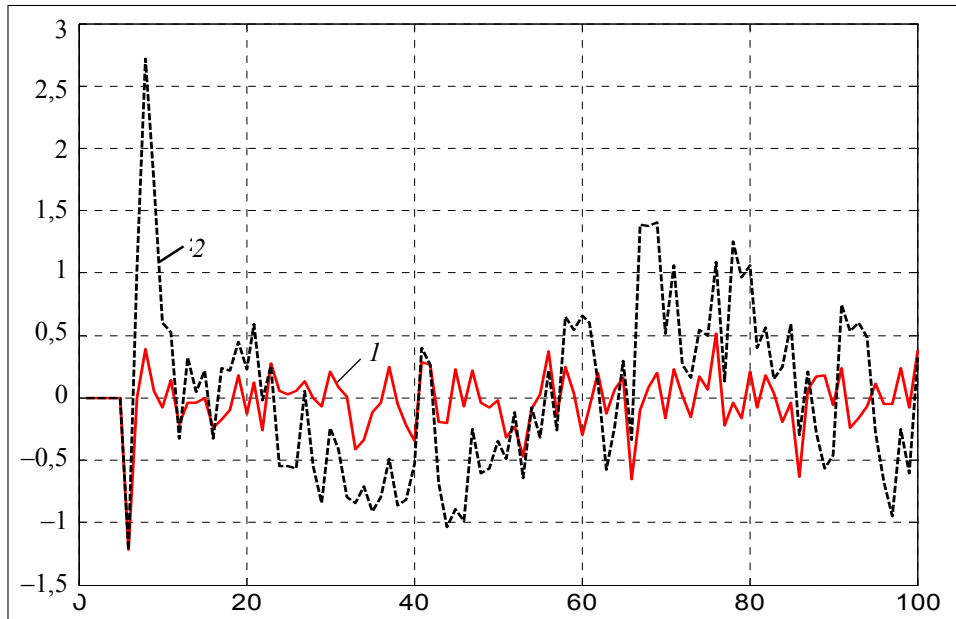


Рис. 9. Моделювання слідкуючої системи: 1 — графік $\varepsilon(r)$ з координацією, 2 — графік $\varepsilon(r)$ без координації

Як бачимо, цього разу стандартні відхилення вихідних координат дещо зросли, проте стандартне відхилення нев'язки співвідношення зменшилось приблизно у 2,6 разу, що для координуючої системи значно важливіше, ніж незначна втрата точності слідкування. Таким чином, можна зробити висновок, що розроблений алгоритм координуючого керування задовільно виконує покладені на нього функції.

ВИСНОВКИ

У цій роботі досліджено задачу координуючого керування різномірним об'єктом у стохастичному середовищі.

1. Запропоновано новий критерій оптимальності координуючого управління — критерій мінімуму дисперсії нев'язки співвідношень вихідних координат багатовимірного процесу.

2. Розроблено метод умовної мінімізації дисперсії нев'язки співвідношень та узагальненої дисперсії вихідних координат, а також рекурентний

алгоритм оптимального цифрового керування відносно запропонованого критерію.

3. Проведено дослідження розробленого методу й алгоритмів оптимального координуючого керування шляхом цифрового моделювання двовимірної системи при постійному та змінному задавальному діянні ведучої координати, що підтвердило ефективність і практичну цінність отриманих результатів.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Бойчук Л.М.* Синтез координирующих систем автоматического управления. — М.: Энергоатомиздат, 1991. — 160 с.
2. *Мирошник И.В.* Согласованное управление многоканальными системами. — Л.: Энергоатомиздат, 1990. — 129 с.
3. *Романенко В.Д.* Прогнозирование динамических процессов на основе математических моделей временных рядов с разнотемповой дискретизацией // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2005. — № 2. — С. 23–41.
4. *Романенко В.Д.* Методи автоматизації прогресивних технологій: підруч. — Київ: Вища шк., 1995. — 519 с.
5. *Изерман Р.* Цифровые системы управления. — М.: Мир, 1984. — 541 с.
6. *Сухарев А.Г., Тимохов А.В., Федоров В.В.* Курс методов оптимизации. — М.: Наука, 1986. — 248 с.
7. *Магнус Я., Нейдекер Х.* Матричное дифференциальное исчисление с приложениями к статистике и эконометрике. — М.: Физматлит, 2002. — 495 с.
8. *Романенко В.Д.* Синтез и адаптивная настройка функций прогнозирования динамических процессов в приращениях переменных для моделей с разнотемповой дискретизацией // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2007. — № 4. — С. 15–25.

Надійшла 26.07.2010

**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ
ПАРАМЕТРОВ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ В УСЛОВИЯХ
ОГРАНИЧЕННОЙ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ**

Е.В. РЕДЬКО, Т.В. ПОДЛАДЧИКОВА, В.Н. ПОДЛАДЧИКОВ

Для исследования статистических свойств оценок в условиях ограниченной экспериментальной информации в работе предлагается совмещать обработку экспериментальных данных с процедурой имитационного моделирования, имитирующей продолжение эксперимента в тех же условиях. Предложенная методика используется для повышения эффективности процедуры оценивания показателя степени закона распределения энергии солнечных вспышек.

ВВЕДЕНИЕ

При обработке экспериментальных данных для оценки неизвестных параметров широко используется метод наименьших квадратов (МНК). Применение этого метода в условиях недостаточного объема экспериментальных данных и нарушений основных предположений МНК может привести к смещению оценок и не обеспечивает надежность выводов, непосредственно основанных на полученных оценках.

Смещение оценки неизвестного параметра может привести к искажению физического представления об исследуемом процессе. Так, величина показателя степени закона распределения энергии солнечных вспышек, который принято считать степенным, является принципиально важным [1]. Если показатель степени больше двух, то среднее количество энергии, вносимое в солнечную корону вспышками, определяется верхней границей диапазона энергии солнечных вспышек, если меньше двух, то нижней границей.

Как альтернативный способ оценивания рассмотрен бутстреп-метод. Идеей метода является размножение имеющейся выборки, что представляется эффективным способом оценивать параметры распределения в условиях ограниченной экспериментальной информации [3]. Бутстреп-метод позволяет получить асимптотически несмещенные и эффективные оценки [4]. В качестве оценки результата выступает усредненная по N выборкам оценка. При сравнении результатов оценивания с помощью фильтра Калмана и бутстреп-метода показано, что последний является более точным [5].

Поэтому для определения смещения оценок в условиях ограниченной экспериментальной информации, предлагается использовать статистическую модель-прототип, имитирующую продолжение эксперимента в тех же условиях.

На основе модели-прототипа проводится обработка данных измерения энергии солнечных вспышек спутником Trace (Transition region and coronal explorer — исследователь короны и переходной области Солнца) и выполняется коррекция смещения оценок МНК показателя степени, изменяющего представление о влиянии энергии солнечных вспышек.

АНАЛИЗ СМЕЩЕНИЯ ОЦЕНКИ ПОКАЗАТЕЛЯ

Плотность $f(x_i^*)$ степенного закона распределения $f(x) = Ax^{-\alpha}$ ($\alpha > 0$) по экспериментальной выборке аппроксимируется величиной ω_i/Δ_i , где ω_i — относительная частота попадания в i -й интервал группирования; Δ_i — ширина i -го интервала $(x_i, x_i + \Delta_i)$; x_i^* — точка, принадлежащая i -му интервалу, ($i = 1, \dots, N$); N — число интервалов группирования.

Неизвестные параметры A и α оцениваются на основе построения модели линейной регрессии вида

$$\ln \tilde{f}(x_i^*) = \ln A - \alpha \ln x_i^* + \varepsilon_i, \quad (1)$$

где ε_i — ошибка, флуктуационная составляющая модели.

Покажем, что для модели (1) математическое ожидание $E(\varepsilon_i) \neq 0$. Относительная частота ω_i является несмещенной состоятельной оценкой вероятности P_i попадания случайной величины в i -й интервал группирования данных, т.е. $\omega_i = P_i + \zeta_i$, где ζ_i — случайная величина, распределенная по биномиальному закону с параметрами $E(\zeta_i) = 0$, $\text{var}(\zeta_i) = E(\zeta_i^2) = \frac{P_i(1-P_i)}{n}$, где n — длина выборки.

В качестве оценки плотности распределения $\tilde{f}(x_i^*)$ используется отношение $\frac{\omega_i}{\Delta_i}$, т.е. $\tilde{f}(x_i^*) = \frac{\omega_i}{\Delta_i} = \frac{P_i + \zeta_i}{\Delta_i}$. Или

$$\tilde{f}(x_i^*) = f(x_i^*) + \eta_i. \quad (2)$$

Здесь $\eta_i = \xi_i + \frac{\zeta_i}{\Delta_i}$, где $\xi_i = \frac{P_i}{\Delta_i} - f(x_i^*)$ — составляющая ошибки, обусловленная заменой предела $\lim_{\Delta_i \rightarrow 0} \frac{P_i}{\Delta_i} = f(x_i^*)$ при $\Delta_i \rightarrow 0$ отношением $\frac{P_i}{\Delta_i}$.

Математическое ожидание $E(\eta_i)$ ошибки модели (2) определяется ошибкой выбора точки x_i^* на интервале группирования и равно

$$E(\eta_i) = \frac{P_i}{\Delta_i} - f(x_i^*).$$

Рассмотрим смещение ошибки ε_i модели (1) при больших n .

Логарифм правой части выражения (2) имеет вид

$$\ln(f(x_i^*) + \eta_i) = \ln f(x_i^*) + \ln\left(1 + \frac{\eta_i}{f(x_i^*)}\right).$$

Используя разложение в ряд Тейлора логарифмической функции и ограничиваясь двумя членами разложения, получим для больших n асимптотическое представление

$$\ln\left(1 + \frac{\eta_i}{f(x_i^*)}\right) \sim \frac{\eta_i}{f(x_i^*)} - \frac{\eta_i^2}{2f^2(x_i^*)}.$$

Следовательно, флюктуационная составляющая модели (1) имеет вид

$$\varepsilon_i \sim \frac{\eta_i}{f(x_i^*)} - \frac{\eta_i^2}{2f^2(x_i^*)} = \frac{\xi_i}{f(x_i^*)} + \frac{\varsigma_i}{\Delta_i f(x_i^*)} - \frac{\left(\xi_i + \frac{\varsigma_i}{\Delta_i}\right)^2}{2f^2(x_i^*)}.$$

Математическое ожидание ошибки ε_i равно

$$\begin{aligned} E(\varepsilon_i) &\sim E\left(\frac{\xi_i}{f(x_i^*)}\right) - E\left(\frac{\xi_i^2}{2f^2(x_i^*)}\right) - E\left(\frac{\varsigma_i^2}{2\Delta_i^2 f^2(x_i^*)}\right) = \\ &= \left(\frac{P_i}{\Delta_i f(x_i^*)} - 1\right) - \frac{1}{2}\left(\frac{P_i}{\Delta_i f(x_i^*)} - 1\right)^2 - \frac{P_i(1-P_i)}{2n\Delta_i^2 f^2(x_i^*)} \neq 0. \end{aligned}$$

Таким образом, флюктуационная составляющая модели (1) смещена, что обуславливает смещение оценки показателя степени.

ОЦЕНКА ХАРАКТЕРИСТИК РАСПРЕДЕЛЕНИЯ НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ

Описание модели

В соответствии с моделью (1) определим оценку показателя α по данным измерения энергии солнечных вспышек спутником Trase.

Длина экспериментальной выборки составляет $n = 1215$; минимальное и максимальное выборочные значения равны $x_{\min} = 14,8523$, $x_{\max} = 2515,57$.

Весь интервал наблюдения (x_{\min}, x_{\max}) первоначально разбивается на 49 равных интервалов группирования. После объединения тех интервалов, в которых оказывается менее пяти выборочных значений, число интервалов группирования составляет $N = 9$.

На основе МНК была получена оценка показателя степени $\hat{\alpha} = 1,828$. Непосредственные выводы о действительных значениях показателя степени на основе этой оценки в условиях смещения оценок МНК, обусловленного смещением ошибок ε_i модели (1) могут оказаться ненадежными.

Для определения вероятностных характеристик оценок в условиях ограниченной экспериментальной информации предлагается использовать

статистическую модель-прототип, имитирующую продолжение эксперимента в тех же условиях по ансамблю реализаций. Вычисленные по экспериментальным данным оценки параметров распределения рассматриваются как один из результатов, которые могут быть получены при моделировании.

В предлагаемой модели генерируется выборка случайных величин распределенная по степенному закону, таким образом, что длина выборки, минимальное и максимальное выборочные значения полностью соответствуют экспериментальным данным. Алгоритм обработки предполагает также первоначальное разбиение на 49 интервалов с последующим объединением тех интервалов, в которых оказалось менее пяти выборочных значений.

Выбор допустимого диапазона действительных значений показателя степени

Экспериментальная выборка рассматривается как одна из реализаций имитационной модели. Поэтому обязательным требованием к имитационной модели-прототипу является выбор такого интервала $(\alpha_{\min}, \alpha_{\max})$, чтобы для каждого действительного значения показателя степени $\alpha \in (\alpha_{\min}, \alpha_{\max})$ существовала ненулевая вероятность совпадения результатов моделирования с результатами обработки экспериментальных данных. С возможным совпадением полученных при моделировании и при обработке экспериментальных данных оценки $\hat{\alpha} = 1,828$ можно связать лишь вероятность нуль. Поэтому при выборе интервала $(\alpha_{\min}, \alpha_{\max})$ следует исходить из требования существования ненулевой вероятности попадания полученной при моделировании оценки в некоторый интервал $(\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2)$, внутри которого находится оценка $\hat{\alpha} = 1,828$. Кроме того, диапазон выбираемых действительных значений α ограничивается условием существования ненулевой вероятности сокращения числа интервалов группирования до $N = 9$ после их объединения при первоначальном разбиении на 49 равных интервалов.

Вероятность сокращения числа интервалов до 9 оценивается как относительная частота появления этого события в 1000 реализациях выборки случайных величин, распределенных по степенному закону при различных действительных значениях α , взятых с шагом 0,01.

Как показали результаты моделирования, число интервалов группирования после объединения уменьшается с ростом действительного значения α . Наименьшее значение показателя степени, при котором хотя бы в одной из 1000 реализаций число интервалов после объединения сократилось до 9, равно $\alpha = 1,71$. Максимальное значение показателя, при котором еще с ненулевой вероятностью число интервалов после объединения сокращается до 9, равно $\alpha = 2,32$.

Относительная частота попадания оценки показателя $\hat{\alpha}$ в интервал $(\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2)$, включающий точку $\hat{\alpha} = 1,828$, определялся по 1000 реализациям для всех значений $\alpha \in (1,71; 2,32)$, взятых с шагом 0,01, для двух случаев: $(\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2) = (1,825; 1,835)$; $(\hat{\alpha}_1, \hat{\alpha}_2) = (1,8; 1,86)$.

Как показали результаты моделирования, минимальное значение α , при котором еще существует ненулевая вероятность попадания оценки

в интервал $(1,825; 1,835)$ равно $\alpha_{\min} = 1,85$; а в интервал $(1,8; 1,86)$ равно $\alpha_{\min} = 1,82$.

На рис. 1 приведена зависимость от $\alpha^{(k)}$ значений оценок условной вероятности $\hat{P}_1^{(k)} = [\hat{\alpha} \in (1,825; 1,835) / \alpha = \alpha^{(k)} \in (1,825; 2,32)]$, на рис. 2 приведена зависимость от $\alpha^{(k)}$ значений оценок условной вероятности $\hat{P}_2^{(k)} = [\hat{\alpha} \in (1,8; 1,86) / \alpha = \alpha^{(k)} \in (1,825; 2,32)]$.

Как видно из рис. 1 и 2, в обоих случаях наиболее вероятно попадание в интервал $(\hat{\alpha}_1; \hat{\alpha}_2)$ при $2,06 < \alpha < 2,14$.

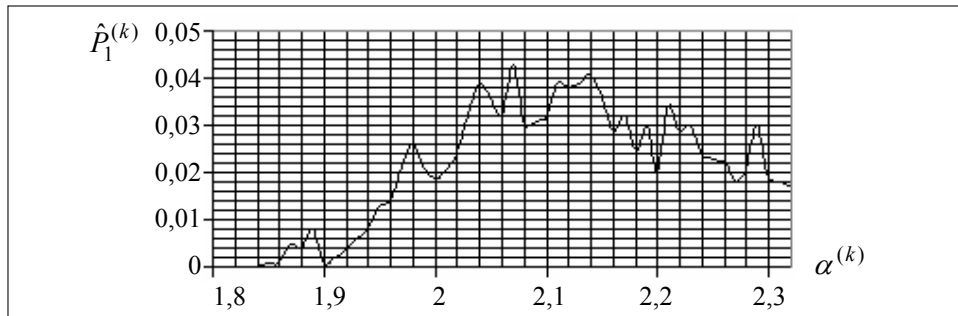


Рис. 1. Оценка условной вероятности при $\hat{\alpha} \in (1,825; 1,835)$

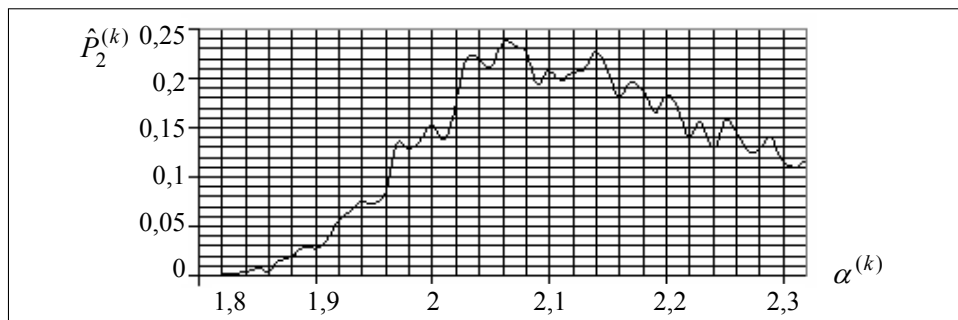


Рис. 2. Оценка условной вероятности при $\hat{\alpha} \in (1,8; 1,86)$

АПОСТЕРИОРНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЯ СТЕПЕНИ

Вероятность принадлежности действительного значения α интервалу $(\alpha^{(k)}; \alpha^{(k+1)})$ при условии, что его оценка оказалась в интервале $(\hat{\alpha}_1; \hat{\alpha}_2)$ рассчитывается по формуле вероятностей гипотез Байеса [2]:

$$P[\alpha \in (\alpha^{(k)}; \alpha^{(k+1)}) / \hat{\alpha} \in (\hat{\alpha}_1; \hat{\alpha}_2)] = \frac{P[\alpha \in (\alpha^{(k)}; \alpha^{(k+1)})] P[\hat{\alpha} \in (\hat{\alpha}_1; \hat{\alpha}_2) / \alpha \in (\alpha^{(k)}; \alpha^{(k+1)})]}{\sum_{j=0}^{L-1} (P[\alpha \in (\alpha^{(j)}; \alpha^{(j+1)})] P[\hat{\alpha} \in (\hat{\alpha}_1; \hat{\alpha}_2) / \alpha \in (\alpha^{(j)}; \alpha^{(j+1)})])}$$

Здесь $P[\alpha \in (\alpha^{(k)}, \alpha^{(k+1)})]$ — априорная вероятность принадлежности действительного значения показателя степени α интервалу $(\alpha^{(k)}, \alpha^{(k+1)})$.

$P[\hat{\alpha} \in (\hat{\alpha}_1; \hat{\alpha}_2) / \alpha \in (\alpha^{(k)}, \alpha^{(k+1)})]$ — вероятность попадания оценки показателя степени в интервал $(\hat{\alpha}_1; \hat{\alpha}_2)$ при условии, что его действительное значение принадлежит интервалу $(\alpha^{(k)}, \alpha^{(k+1)})$, определялось как среднее арифметические рассчитанных при моделировании значений вероятностей попадания оценок $\hat{\alpha}$ в интервал $(1,825; 1,835)$ при условиях, что его действительные значения принадлежат границам этого интервала, т.е. $\alpha = \alpha^{(k)}$ и $\alpha = \alpha^{(k+1)}$.

На рис. 3, 4 показана оценка апостериорной плотности распределения показателя степени α , если $\hat{\alpha}$ оказалась в интервалах $(1,825; 1,835)$ и $(1,8; 1,86)$ соответственно.

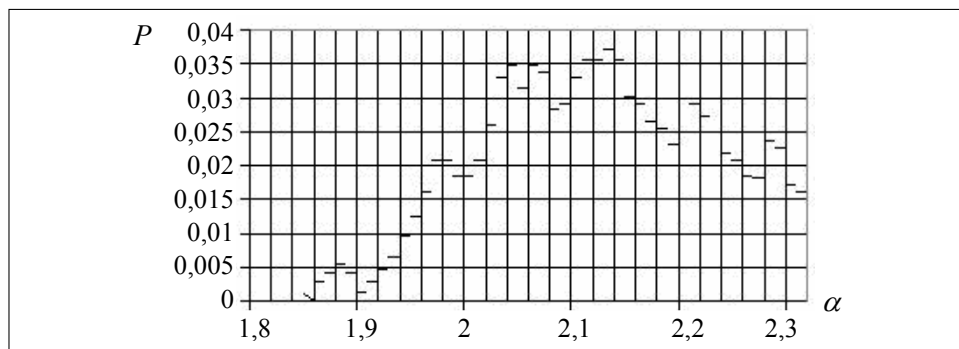


Рис. 3. Оценка апостериорной плотности распределения показателя степени α , если $\hat{\alpha} \in (1,825; 1,835)$

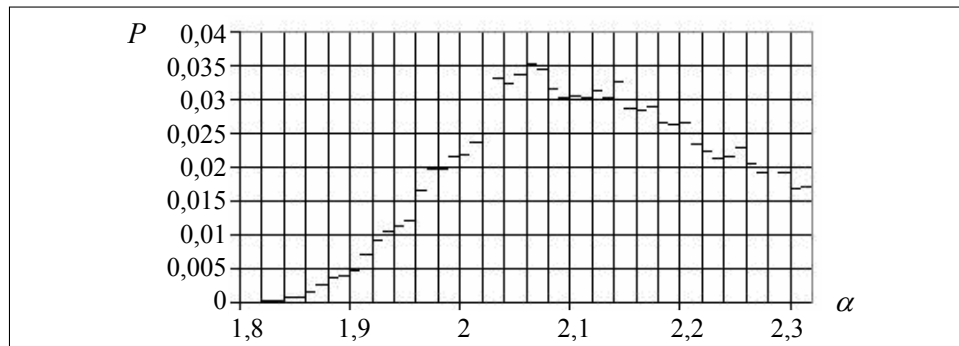


Рис. 4. Оценка апостериорной плотности распределения показателя степени α , если $\hat{\alpha} \in (1,8; 1,86)$

Из рис. 3 и 4 видно, что в обоих случаях плотность распределения резко возрастает от нуля до значений, превышающих 0,03, при изменении α от 1,82 до 2,03. Максимальных значений плотность распределения достигает на интервале $\alpha \in (2,03; 2,15)$. При $\alpha > 2,15$ плотность распределения снижается и достигает значения 0,016 – 0,017 при $\alpha = 2,32$.

Апостериорные вероятности неравенства $\alpha > 2$, для обоих рассматриваемых случаев также отличаются незначительно:

$$\hat{P} = [\alpha > 2 / \hat{\alpha} \in (1,825; 1,835)] = 0,868,$$

$$P = [\alpha > 2 / \hat{\alpha} \in (1,8; 1,86)] = 0,853.$$

Полученные оценки апостериорного распределения показателя степени незначительно отличаются при изменении длины интервала, внутри которого находится оцененное по экспериментальным данным значение α и позволяют делать обоснованные выводы о диапазоне вероятных значений показателя степени по полученной по экспериментальным данным оценке.

Таким образом, с высокой вероятностью можно утверждать, что показатель степени больше 2 и среднее количество энергии, вносимое в солнечную корону вспышками, определяется верхней границей энергии солнечных вспышек.

ВЫВОДЫ

В данной работе были рассмотрены статистические свойства оценок параметров в условиях ограниченной выборки и доказана смещенность оценок, которые можно получить используя МНК. Доказано, что вклад в смещение оценок вносит линеаризация исходной модели и ограниченное количество экспериментальной информации. В работе использован и описан метод построения имитационной модели прототипа, позволяющий выполнить коррекцию смещения полученных оценок.

В предлагаемой модели генерируется выборка случайных величин распределенная по степенному закону, таким образом, что длина выборки, минимальное и максимальное выборочные значения полностью соответствуют экспериментальным данным. Алгоритм обработки предполагает также первоначальное разбиение на 49 интервалов с последующим объединением тех интервалов, в которых оказалось менее пяти выборочных значений.

Данная модель использована для определения действительного значения показателя степени экспоненциального закона распределения энергии солнечных вспышек. Для этого было построено апостериорное распределение вероятностей значения показателя степени α , если $\hat{\alpha}$ оказалась в интервалах (1,825; 1,835) и (1,8; 1,86) соответственно.

Результаты показали, что в обоих случаях плотность распределения резко возрастает от нуля до значений, превышающих 0,03, при изменении α от 1,82 до 2,03. Максимальных значений плотность распределения достигает на интервале $\alpha \in (2,03; 2,15)$. При $\alpha > 2,15$ плотность распределения снижается и достигает значения 0,016–0,017 при $\alpha = 2,32$.

На основе графиков плотности вероятностей сделан окончательный вывод о том, что показатель степени имеет действительное значение больше 2 и среднее количество энергии, вносимое в солнечную корону вспышками, определяется верхней границей энергии солнечных вспышек.

ЛИТЕРАТУРА

1. Crosby N.B., Aschwanden M.J., Dennis B.R. Frequency Distribution and correlation of solar X-Ray flare parameters // Solar Physics. — 1993. — № 143. — P. 275–299.
2. Смирнов Н.В., Душин-Барковский И.В. Курс теории вероятностей и математической статистики. — М.: Наука, 1969. — 512 с.
3. Орлов А.И. Эконометрика. — М.: Экзамен, 2002. — 576 с.
4. Гаев Л.В. Рандомизированная обработка результатов имитационных экспериментов. — <http://www.gpss.ru/immod/03/017.html>.
5. Prasad R.M., Sinha A.K. Two-stage bootstrap algorithms for parameter estimation // International Journal of Systems Science. — 1977. — 8, № 12. — P. 1365–1374.

Поступила 15.05.2009

ИНВАРИАНТНОСТЬ ПО СКАЛЯРНОМУ КРИТЕРИЮ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ

П.В. ЧЕТЫРБОК

Построено изоморфное отображение множества распознаваемых образов на множество вещественных чисел из интервала $[0, 1]$, которое позволяет связать классификацию распознаваемых образов с поведением скалярного критерия в пространстве ошибок. Предложенный в статье функционал и решающее правило (скалярный критерий для распознавания образов) позволяют создать модель нейронной сети инвариантной к трансформациям распознаваемых образов.

ВВЕДЕНИЕ

Из известных методов обучения нейронных сетей наиболее широкое применение имеют градиентные методы со случайным изменением начальных условий [1, 3, 4]. Недостатком этих методов являются трудности распознавания образов в случае близости по норме Евклида сравниваемых образов.

Существует также множество подходов к определению степени сходства входных сигналов. Один из них применяется для определения степени подобия входных образов для нейронных сетей на основе Евклидова расстояния [1].

Пусть существует некоторый вектор x размерности m :

$$x_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}]^T.$$

Элементы вектора — действительные числа, а обозначение «Т» указывает на транспонирование матрицы. Вектор x_i определяет некоторую точку в m -мерном Евклидовом пространстве (R^m). Евклидово расстояние между парой m -мерных векторов x_i и x_j вычисляется по формуле:

$$d(x_i - x_j) = \|x_i - x_j\| = \left[\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2 \right]^{1/2},$$

где x_{ik} и x_{jk} — k -е элементы векторов x_i и x_j соответственно. Чем ближе друг к другу отдельные элементы векторов x_{ik} и x_{jk} , тем меньше Евклидово расстояние. В данной работе рассматривается подход к определению степени сходства образов, который основывается на скалярном критерии распознавания образов нейронной сетью, построенный на идее скалярного произведения векторов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Цель работы — построить отображение множества распознаваемых образов на множество действительных чисел из интервала $[0, 1]$ так, чтобы задавая определенные интервалы для этих чисел, можно было бы группировать

образы, распознавать, сравнивать и анализировать их. Сходные входные сигналы от схожих классов должны формировать единое представление в нейронной сети. Исходя из этого, они должны быть классифицированы как принадлежащие к одной категории [1, 2]. Необходимо также определить степень сходства, используя скалярный критерий для распознавания образов [5].

Нейронные сети обладают естественной способностью классификации образов. Эту способность можно использовать для обеспечения инвариантности сети к трансформациям. Сеть обучается на множество примеров одного и того же объекта, при этом в каждом примере объект подается в несколько измененном виде (например, снимки с разных ракурсов). Если количество таких примеров достаточно велико и если нейронная сеть обучена отличать разные точки зрения на объект, можно ожидать, что эти данные будут обобщены и сеть сможет распознать ракурсы объекта, которые не использовались при обучении. Однако с технической точки зрения инвариантность по обучению имеет два существенных недостатка:

- во-первых, если нейронная сеть научена распознавать трансформации объектов некоторого класса, то совсем не обязательно, что она будет обладать инвариантностью по отношению к трансформациям объектов других классов;
- во-вторых, такое обучение является очень ресурсоемким, особенно при большой размерности пространства признаков.

Скалярный критерий распознавания образов можно получить с помощью вектора ошибок, полученного при распознавании нейронной сетью входного образа, и вектора ошибок, полученного при распознавании нейронной сетью эталонного образа. Если за эталонные образы взять образы трансформации объектов, то получим алгоритм их распознавания. То есть, каждому образу трансформации объекта будет отвечать свое значение скалярного критерия. Поскольку вычисление скалярного критерия не изменяет значения весовых коэффициентов нейронной сети, то нейронная сеть может распознавать трансформацию объектов нескольких классов одновременно и при этом расчет скалярного критерия является не расходным по ресурсам.

ПОСТРОЕНИЕ СКАЛЯРНОГО КРИТЕРИЯ РАСПОЗНАВАНИЯ ОБРАЗОВ СИГНАЛОВ

Построим модель нейронной сети в виде: $y_i = Wx_i$, где $y_i = \begin{pmatrix} y_i^1 \\ y_i^2 \\ \dots \\ y_i^m \end{pmatrix}$ — век-

торы выхода; $x_i^T = (x_i^1; x_i^2; \dots; x_i^m)$ — векторы входных воздействий; m — размерность пространства образов; $i=1, \dots, n$, где n — число обучаемых образов.

Матрица весовых коэффициентов нейронной сети, обученной распознавать образ y_1 , будет иметь вид:

$$W_1 = \begin{pmatrix} y_1^1 x_1^1 \dots y_1^1 x_1^m \\ y_1^2 x_1^1 \dots y_1^2 x_1^m \\ \dots \\ y_1^m x_1^1 \dots y_1^m x_1^m \end{pmatrix}; \quad y_1 = \begin{pmatrix} y_1^1 (x_1^1 x_1^1 + x_1^2 x_1^2 + \dots + x_1^m x_1^m) \\ y_1^2 (x_1^1 x_1^1 + x_1^2 x_1^2 + \dots + x_1^m x_1^m) \\ \dots \\ y_1^m (x_1^1 x_1^1 + x_1^2 x_1^2 + \dots + x_1^m x_1^m) \end{pmatrix}.$$

Необходимым и достаточным условием для точного воспроизведения эталонного выхода является ортогональность и ортонормированность входных векторов сигналов при обучении нейронной сети.

Пусть отклонение на этапе распознавания образа на входе будут равны:

$$\Delta x_i^T = (\Delta x_i^1; \Delta x_i^2; \dots; \Delta x_i^m).$$

Тогда

$$y + \Delta y = W \begin{pmatrix} x_i^1 + \Delta x_i^1 \\ x_i^2 + \Delta x_i^2 \\ \dots \\ x_i^m + \Delta x_i^m \end{pmatrix}.$$

Для отклонений на выходе можно записать:

$$\Delta y_1 = \begin{pmatrix} y_1^1 (x_1^1 \Delta x_1^1 + x_1^2 \Delta x_1^2 + \dots + x_1^m \Delta x_1^m) \\ y_1^2 (x_1^1 \Delta x_1^1 + x_1^2 \Delta x_1^2 + \dots + x_1^m \Delta x_1^m) \\ \dots \\ y_1^m (x_1^1 \Delta x_1^1 + x_1^2 \Delta x_1^2 + \dots + x_1^m \Delta x_1^m) \end{pmatrix}.$$

Оценим ошибку на выходе:

$$E2 = \sqrt{\sum_{i=1}^m \Delta y_1^i}, \quad i = 1, \dots, m;$$

$$E3 = \sum_{i=1}^m |\Delta y_1^i|, \quad i = 1, \dots, m;$$

$$E4 = \max(\Delta y_1^i), \quad i = 1, \dots, m.$$

Построим функционал, который равен скалярному произведению нормированных векторов ошибок $E = (E2, E3, E4)$, $X = (X1, X2, X3)$ при распознавании нейронной сетью сигналов и соответствующих им элементов. Скалярный критерий распознавания образов (сигналов) вычислим следующим образом:

$$\cos(\lambda) = \frac{(\bar{E}, \bar{X})}{\|E\|_c \|X\|_c},$$

где E — вектор ошибок в пространстве ошибок, полученный при распознавании нейронной сетью входного образа; X — вектор ошибок, полученный при распознавании нейронной сетью эталонного образа.

Для распознавания двух векторов сигналов $x_1^T = (x_1^1; x_1^2; \dots; x_1^m)$ и $x_2^T = (x_2^1; x_2^2; \dots; x_2^m)$ найдем:

$$W_1 = \begin{pmatrix} y_1^1 x_1^1 \dots y_1^1 x_1^m \\ y_1^2 x_1^1 \dots y_1^2 x_1^m \\ \dots \\ y_1^m x_1^1 \dots y_1^m x_1^m \end{pmatrix}; \quad W_2 = \begin{pmatrix} y_2^1 x_2^1 \dots y_2^1 x_2^m \\ y_2^2 x_2^1 \dots y_2^2 x_2^m \\ \dots \\ y_2^m x_2^1 \dots y_2^m x_2^m \end{pmatrix}.$$

Учитывая, что $y_1 = Wx_1^T$ и $y_2 = Wx_2^T$ получим $W = W_1 + W_2$, откуда находим W . Для обучения распознавания трех образов получим условие $W = W_1 + W_2 + W_3$ и в общем случае $W = \sum_{i=1}^n W_i$, где n — число обучаемых образов.

Таким образом, построено отображение множества входных сигналов на множество действительных чисел. Это отображение разбивает множество векторов входных сигналов на классы. Отображение является отношением эквивалентности, то есть оно рефлексивно, симметрично и транзитивно. Отображение разбивает множество векторов входных сигналов на непересекающиеся классы. Отображение состоит из композиции двух отображений. Сначала множество векторов входных сигналов (конечное множество) отображается в трехмерное векторное пространство ошибок, а затем конечное множество векторов ошибок отображается на конечное подмножество множества действительных чисел.

КОМПЬЮТЕРНАЯ МОДЕЛЬ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Нейронная сеть обучена распознавать 128 двоичных 7-ми разрядных входных образов с помощью пакета программ «Универсальная система интеллектуального анализа данных, распознавания и прогноз INTENSIV» [5], которая включает в свой состав программу обучения, программу самообучения нейронной сети и программу распознавания образов. Для обучения используем 8 двоичных образов: 10000000, 01000000, 00100000, 00010000, 00001000, 00000100, 00000010, 00000001. В результате работы программы сформирован массив весовых коэффициентов, то есть нейронная сеть обучена распознавать 8 образов (рассчитан скалярный взвешенный критерий). Далее с помощью программы самообучения обучаем нейронную сеть распознавать остальные 120 образов, при этом их двоичные коды и коды их эталонов, берем из таблицы. Программа самообучения в отличие от программы обучения не изменяет весовые коэффициенты, а только рассчитывает скалярный коэффициент близости образов. В результате обучения и самообучения нейронной сети получена таблицы, которая используется программой распознавания образов. Программа распознавания образа, которая согласно скалярного критерия $\cos(\lambda)$ из таблицы распознает произвольный входной двоичный образ, поданный на вход нейронной сети одновременно может служить классификатором, в котором за вектора ядер

классов образов (объектов) взять вектора (10000000, 01000000, 00100000, 00010000, 00001000, 00000100, 00000010, 00000001). Они расположены друг от друга на Хемминговом расстоянии равном 2. Тогда 128 образов будут разбиты на 8 классов. Так, например, к 5-му классу относятся образы (объекты) для которых скалярный взвешенный критерий $\cos(\lambda)$ принадлежит интервалу (0,941047928053614–0,943743056402821). Изменяя количество классов (ядер) получаем новый набор интервалов изменения взвешенного критерия, тем самым получаем новую классификацию образов.

Таблица. Классификатор 128 двоичных 7-ми разрядных образов

Двоичный код образа	Эталон образа	$\cos(\lambda)$	Код ASCII образа	Расстояние Хемминга
1	2	3	4	5
10000000	10000000	0,826060581600673		7
10100000	01000000	0,936690872552962	Пробел	6
11000000	01000000	0,937353881522576	@	6
10001000	01000000	0,939245716842437		6
10000010	01000000	0,939263409282480		6
10000100	01000000	0,939304982387979		6
10000001	01000000	0,939647045540305		6
10010000	01000000	0,940389901624390		6
10100010	00100000	0,941047928053614	"	5
...		
10100110	00010000	0,956128458420992	&	4
...		
11101010	00001000	0,958826663453392	<i>j</i>	3
...		
10111101	00000100	0,969290551841973		2
...		
11110111	00000010	0,975981352716797	<i>w</i>	1
11111110	00000010	0,976329462651463		1
11111011	00000010	0,976432641051323		1
10111111	00000010	0,976457343732489		1
11101111	00000010	0,976467676878091	<i>o</i>	1
11111111	00000001	0,979024638356988		0

Из анализа результатов, представленных в таблицы (классификатор 128 двоичных 7-ми разрядных образов) образы классифицированные по расстоянию Хемминга компактно расположены на скалярной оси величин $\cos(\lambda)$ и не наблюдается случаев, когда нарушалась бы однозначность отображения множества значений расстояний между образами по Хеммингу и множества значений скалярного произведения векторов отклонения от эталонных. При таком отображении сохраняется не только однозначность, но и компактность ядра образов и гладкость отображения. Если сравнить с сетью Хопфилда, которая используется для ассоциативной памяти, то можем утверждать что предложенный алгоритм обучения НС позволяет построить более надежную память. Для сети Хопфилда число запоминаемых

образов m не должно превышать величины, примерно равной $0,15n$. Кроме того, если два образа A и B сильно похожи, они, возможно, будут вызывать у сети перекрестные ассоциации, то есть предъявление на входы сети вектора A приведет к появлению на ее выходах вектора B и наоборот. Ассоциативная память, построенная с помощью скалярного критерия надежно запоминает 2^n образов, где n — размерность пространства входных образов и никогда не распознает образ, ранее невиденный.

Традиционные искусственные нейронные сети оказались не в состоянии решить проблему стабильности-пластичности. Очень часто обучение новому образу уничтожает или изменяет результаты предшествующего обучения. В некоторых случаях это не существенно. Если имеется только фиксированный набор обучающих векторов, они могут предъявляться при обучении циклически. Рассмотренные нейронные системы не адаптированы к решению этой задачи. Так, например, многослойный персептрон, обучающийся по методу обратного распространения, запоминает весь пакет обучающей информации, при этом образы обучающей выборки предъявляются в процессе обучения многократно. Попытки затем обучить персептрон новому образу приведут к модификации синаптических связей с неконтролируемым разрушением структуры памяти о предыдущих образах. Таким образом, персептрон не способен к запоминанию новой информации, и необходимо полное переобучение сети. Аналогичная ситуация имеет место и в сетях Кохонена и Хемминга, обучающихся на основе самоорганизации. Данные сети всегда выдают положительный результат при классификации. Тем самым, эти нейронные сети не в состоянии отделить новые образы от искаженных или зашумленных версий старых образов.

В реальной ситуации сеть будет подвергаться постоянно изменяющемуся воздействию; она может дважды не увидеть один и тот же обучающий вектор. При таких обстоятельствах сеть, скорее всего, не будет обучаться; она будет непрерывно изменять свои веса, не достигая удовлетворительных результатов. Более того, приведены примеры сети, в которой только четыре обучающих вектора, предъявляемых циклически, заставляют веса сети изменяться непрерывно, иногда не сходясь. Такая временная нестабильность явилась одним из главных факторов, заставивших Гроссберга и его сотрудников исследовать радикально отличные конфигурации [1]. Адаптивная резонансная теория (АРТ) является одним из результатов исследования этой проблемы. Нейронные сети АРТ, при всех их замечательных свойствах, имеют ряд недостатков. Один из них — большое количество синаптических связей в сети, в расчете на единицу запоминаемой информации. При этом многие из весов этих связей оказываются после обучения нулевыми. Эту особенность следует учитывать при аппаратных реализациях. Сеть АРТ-1 приспособлена к работе только с битовыми векторами. Это неудобство преодолевается в сетях АРТ-2 и АРТ-3. Однако в этих архитектурах, равно как и в АРТ-1, сохраняется главный недостаток АРТ — локализованность памяти. Память нейронной сети АРТ не является распределенной, и некоторой заданной категории отвечает вполне конкретный нейрон слоя распознава-

ния. При его разрушении теряется память обо всей категории. Эта особенность, не позволяет говорить о сетях адаптивной резонансной теории как о прямых моделях биологических нейронных сетей. Память последних является распределенной. Скалярный критерий позволяет создать модель распределенной памяти.

ВЫВОДЫ

Каждому образу, распознаваемому многослойным персептроном в многофакторном пространстве ошибок соответствует свое значение скалярного критерия $\cos(\lambda)$. В данной работе построено изоморфное отображение множества распознаваемых образов на множество действительных чисел из интервала $[0,1]$, которое позволяет связать классификацию распознаваемых образов с поведением $\cos(\lambda)$ в многофакторном пространстве ошибок. Задавая определенные интервалы для значений $\cos(\lambda)$ мы можем группировать образы, распознавать, сравнивать и анализировать их. Построено решающее правило для классификации образов в виде утверждений: каждому образу, распознаваемому многослойным персептроном в многофакторном пространстве ошибок будет соответствовать свое значение $\cos(\lambda)$. Образ тем ближе к эталону, чем больше скалярный критерий.

Предложенный в статье функционал и решающее правило (скалярный критерий для распознавания образов) позволяют создать модель нейронной сети инвариантной к трансформациям распознаваемых образов. Если за эталонные образы взять образы трансформации объектов, то получим алгоритм их распознавания. Т.е. каждому образу трансформации объекта будет отвечать свое значение скалярного критерия. Поскольку вычисление скалярного критерия не изменяет значения весовых коэффициентов нейронной сети, то нейронная сеть может распознавать трансформацию объектов нескольких классов одновременно, и при этом расчет скалярного критерия является не расходным по ресурсам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. — 2-е изд., пер. с англ. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2006. — 1104 с.
2. Згуровський М.З., Панкратова Н.Д. Основи системного аналізу. — Київ: Видав. група ВНУ, 2007. — 544 с.
3. Горбань А.Н. Обучение нейронных сетей. — М.: Изд. СССР-США СП «Параграф», 1990. — 160 с.
4. Кохонен Т. Ассоциативная память. — М.: Мир, 1980. — 240 с.
5. Четырбок П.В. Скалярный критерий распознавания образов — функционал качества системы // Штучний інтелект. — 2009. — № 4. — С. 100–103.

Поступила 29.05.2009

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АППАРАТА ИДЕМПОТЕНТНЫХ АЛГЕБР ДЛЯ АНАЛИЗА ПРОЦЕССОВ В СЕТИ С ПРЕДОСТАВЛЕНИЕМ ИНТЕГРИРОВАННЫХ УСЛУГ

В.И. БЕССАРАБ, Э.Е. ЗАЙЦЕВА, Е.Г. КОВАЛЕНКО

Показано применение уравнений «min-plus» алгебры для анализа сети с предоставлением интегрированных услуг. Рассмотрена работа протокола RSVP. Показана возможность управления ресурсами сети в зависимости от требований к задержке по типу трафика. Предложен вариант расчета маршрута передачи с учетом ограничений на задержку.

ВВЕДЕНИЕ

Традиционные сетевые приложения, такие как передача файлов и электронная почта, не критичны к задержкам, тогда как для приложений мультимедиа увеличение задержки является неприемлемым. Гарантированное качество обслуживания в IntServ (Integrated Service — интегрированный сервис) обеспечивается за счет не превышения верхней границы задержки передачи данных по сети. IntServ использует для своих целей протокол сигнализации RSVP (Resource ReSerVation Protocol — протокол резервирования сетевых ресурсов), что позволяет пограничным узлам резервировать сетевые ресурсы для получения необходимого качества услуг [1]. Механизм RSVP-резервирования ресурсов приведен на рис. 1. Для определения количественных характеристик этих требований с целью управления доступом, используются служебные параметры. RSVP-запросы передаются по сети при прохождении каждого узла, который используется для передачи потока. Протокол RSVP резервирует ресурсы для потока данных на каждом из этих узлов.

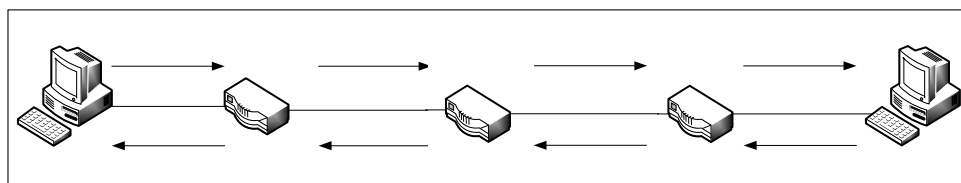


Рис. 1. Механизм RSVP-резервирования ресурсов

Цель работы — рассмотреть задачу анализа процессов в IntServ сети с целью обеспечения заданного качества обслуживания на основе протокола RSVP.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Рассмотрим сеть, состоящую из n узлов, по которой передается поток, определенный T-SPEC (traffic specification — характеристики трафика):

- максимальный размер пакета — M ;
- пиковая скорость передачи данных — p ;
- средняя скорость передачи данных — r ;
- максимальный размер всплеска — b .

В исследуемой сети необходимо по заданному ограничению на сквозную задержку d рассчитать резервируемую скорость R' .

Метод решения поставленной задачи. Для решения поставленной задачи предлагается использовать аппарат идемпотентных алгебр, а именно «min-plus» алгебры. «Min-plus» алгебра — это алгебраическое множество $R_{\min} = (R_{\varepsilon}, \vee, \wedge)$, где $R_{\varepsilon} = R \cup \{+\infty\}$, а операции \vee и \wedge определяются равенствами: $a \vee b \equiv \min(a, b)$ и $a \wedge b \equiv a + b$ для всех $a, b \in R_{\varepsilon}$ [2].

Результаты решения задачи. Для потока T-SPEC (2К, 15 Мбит/с, 1024 Кбит/с, 32 К), проходящего путь из трех маршрутизаторов, и требуемой сквозной задержки сети $d = 0,5$ с рассчитана резервируемая (гарантированная) скорость передачи $R' = 1200$ Кбит/с.

Протокол RSVP работает следующим образом: узел-источник до передачи данных, требующих определенного нестандартного качества обслуживания (например, постоянной полосы пропускания для передачи видеоинформации), посылает по сети специальное сообщение в формате протокола RSVP. Это сообщение о пути (PATH) содержит данные о типе передаваемой информации и требуемой пропускной способности. Оно передается между маршрутизаторами по всему пути от узла-отправителя до узла назначения, при этом определяется последовательность маршрутизаторов, в которых необходимо зарезервировать определенную полосу пропускания. Сообщение PATH направляется по тому же маршруту, по которому движутся информационные пакеты. Маршрутизатор, получив такое сообщение, проверяет свои ресурсы с целью определения возможности выделения требуемой пропускной способности. При ее отсутствии маршрутизатор отвергает запрос. Если требуемая пропускная способность достижима, то маршрутизатор настраивает алгоритм обработки пакетов таким образом, чтобы указанному потоку всегда предоставлялась требуемая пропускная способность, а затем передает сообщение (RESV — reservation — сообщение о резервировании) предыдущему маршрутизатору. Сообщения RESV несут в себе запросы в направлении противоположном движению потока данных.

В результате, по всему пути от узла-отправителя до адреса назначения резервируется необходимая пропускная способность с целью обеспечения запрашиваемого качества обслуживания по задержке.

Протокол RSVP передает сигнальную информацию о запросах резервирования ресурсов по доступному маршрутизируемому пути в сети. При этом RSVP не производит собственную маршрутизацию. Маршрут, при определении пути для данных и управляющего трафика RSVP, определяется применяемым в сети протоколом маршрутизации, в основе которого лежит алгоритм нахождения кратчайшего пути между любой парой узлов [3].

Каждый узел вдоль маршрута задает для потока кривую сервиса — убывающую функцию β , такую, что $\beta(0) = 0$ и для входящего в узел потока $I(t)$ и покидающего узел потока $I^*(t)$ выполняется неравенство $I^*(t) \geq (I \wedge \beta)(t)$ (рис. 2).

Для потока, определенного T-SPEC, кривая сервиса для n -го сетевого маршрутизатора задается функцией β_{R_n, T_n} , которая определяет характер зависимости скорости R_n и задержки T_n , где $T_n = (C_n)^{1/R} \wedge D_n$, здесь C_n, D_n — константы, зависящие от характеристик n -го маршрутизатора, а именно C_n — максимальный размер пакета, проходящего через n -й маршрутизатор; $D_n = \frac{L}{c}$, L — максимальный размер пакета в n -м маршрутизаторе по всем потокам, проходящим через него, c — скорость планировщика [4]. Необходимо по заданному ограничению на сквозную задержку d рассчитать резервируемую скорость R' .

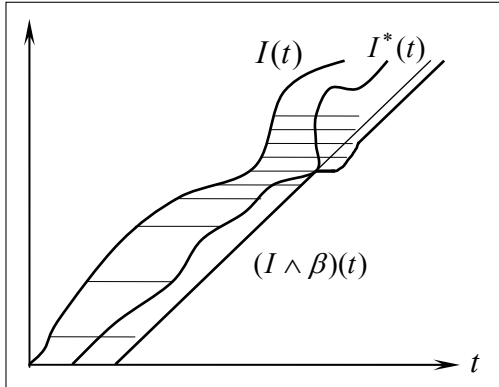


Рис. 2. Кривая сервиса узла сети

В результате процедуры резервирования протоколом RSVP узел n присваивает потоку значение скорости $R_n \geq r$, а именно:

$$\begin{cases} R = \bigvee_{n=1}^N R_n, \\ T = \bigwedge_{n=1}^N ((C_n)^{1/R_n} \wedge D_n). \end{cases}$$

Ограничение на сквозную задержку — d , при условии, что все узлы на пути зарезервируют $R' = R_n$ определяется:

$$f(R') = \left(\frac{(b \oslash M)}{R'} \right) \left(\frac{p \oslash R'}{p \oslash r} \right) \wedge \frac{(M \wedge C_{\text{tot}})}{R'} \wedge D_{\text{tot}}, \quad (1)$$

где $C_{\text{tot}} = \bigwedge_{n=1}^N C_n$, $D_{\text{tot}} = \bigwedge_{n=1}^N D_n$, C_{tot} и D_{tot} — параметры AD-SPEC (Ad Specifications — дополнительная информация о потоке), которые несут в себе информацию о потоке (OPWA — One Pass With Advertising — вариант однопроходного алгоритма). С помощью OPWA управляющие пакеты RSVP, посланные вдоль маршрута для сбора данных, могут быть использованы для предсказания значения QoS маршрута в целом. На рис. 3 приведен расчет параметра AD-SPEC.

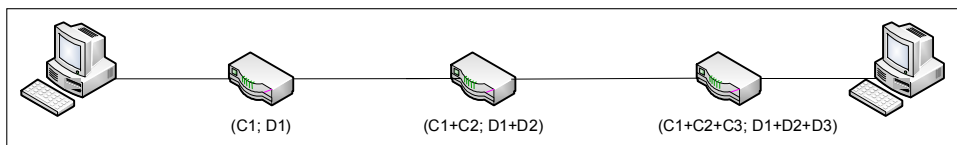


Рис. 3. Расчет параметра AD-SPEC

Получатель рассчитывает R' , как наименьшее значение из всех $\geq r$, для которого, такое значение существует только, если $D_{\text{tot}} \leq d$.

Для получения количественных характеристик по предлагаемой методике используется сеть, топология которой приведена на рис. 4.

Для определения алгоритма маршрутизации используется уравнение «min-plus» алгебры:

$$\mathbf{A}^+ = \bigvee_{k \in N} (\mathbf{A}^k). \quad (2)$$

Элементами матрицы \mathbf{A} являются метрики дуг графа, которым представлена сеть. Метрика представляет собой оценку эффективности связи в канале: чем меньше метрика, тем эффективнее организация связи. В частном случае, метрика, оценивающая пропускную способность канала определяется, как количество времени необходимое для передачи 100 Мбит потока данных. Для сети, изображенной на рис. 4, матрица \mathbf{A} имеет вид:

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} \varepsilon & 11 & 11 & 48 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ 11 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 48 & 48 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ 11 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 11 & 2 & 11 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ 48 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 11 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & 48 & 11 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 2 & 2 & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & 48 & 2 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 2 & 11 & 48 & \varepsilon & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & 11 & 11 & \varepsilon & 2 & \varepsilon & \varepsilon & 11 & 48 & \varepsilon \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 2 & 11 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 48 \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 2 & 48 & 11 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 11 \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 48 & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 2 \\ \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & \varepsilon & 48 & 11 & 2 & \varepsilon \end{bmatrix}.$$

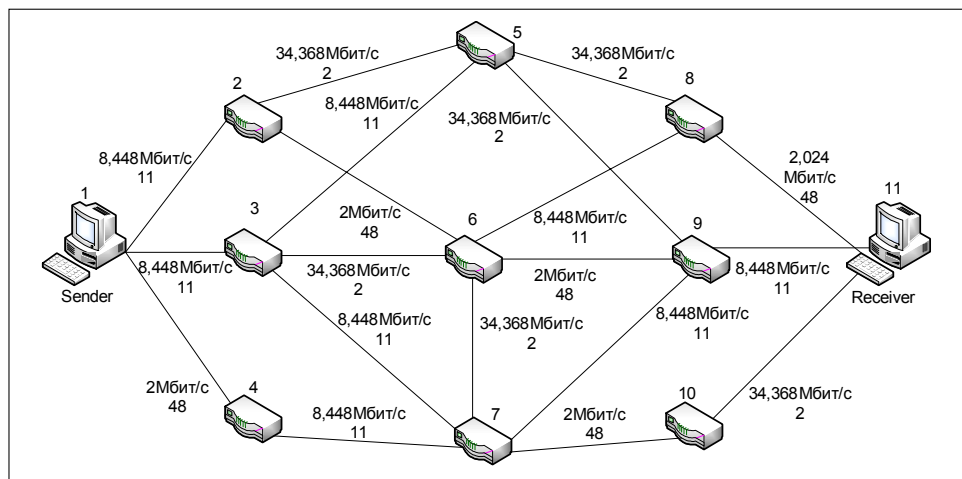


Рис. 4. Топология исследуемой сети

В соответствии с (2) рассчитана матрица кратчайших расстояний между любой парой узлов сети \mathbf{A}^+ :

$$A^+ = \begin{bmatrix} 22 & 11 & 11 & 26 & 22 & 13 & 15 & 24 & 24 & 37 & 35 \\ 11 & 22 & 22 & 37 & 33 & 24 & 26 & 35 & 35 & 48 & 46 \\ 11 & 22 & 4 & 15 & 11 & 2 & 4 & 13 & 13 & 26 & 24 \\ 26 & 37 & 15 & 22 & 24 & 13 & 11 & 24 & 22 & 35 & 33 \\ 22 & 33 & 11 & 24 & 4 & 13 & 13 & 2 & 2 & 15 & 13 \\ 13 & 24 & 2 & 13 & 13 & 4 & 2 & 11 & 13 & 26 & 24 \\ 15 & 26 & 4 & 11 & 13 & 2 & 4 & 13 & 11 & 24 & 22 \\ 24 & 35 & 13 & 24 & 2 & 11 & 13 & 4 & 4 & 17 & 15 \\ 24 & 35 & 13 & 22 & 2 & 13 & 11 & 4 & 4 & 13 & 11 \\ 37 & 48 & 26 & 35 & 15 & 26 & 24 & 17 & 13 & 4 & 2 \\ 35 & 46 & 24 & 33 & 13 & 24 & 22 & 15 & 11 & 2 & 4 \end{bmatrix}.$$

Например, в полученной матрице, расстояние между парами узлов составляет:

- 2-й узел – 11-й узел — 46 у.е.;
- 5-й узел – 8-й узел — 2 у.е.;
- 7-й узел – 5-й узел — 13 у.е.

Таким образом, кратчайший путь от отправителя к получателю в нашем примере составляет 35 $(A^+)_{11,1}$ условных единиц оценки расстояния. Методом «обратного хода» определяем кратчайший маршрут, который проходит через узлы 1–3–5–8–11 (рис. 5).

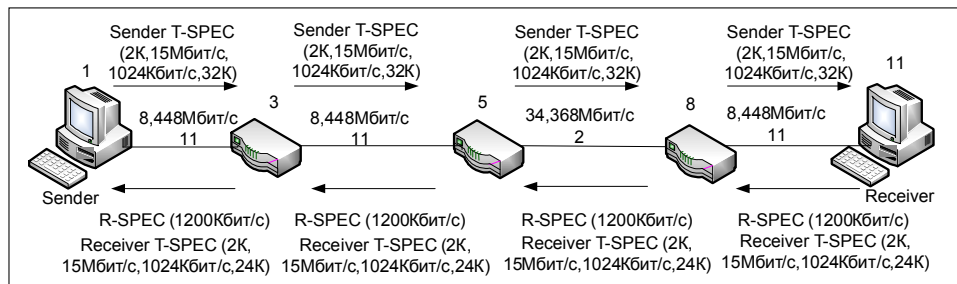


Рис. 5. Кратчайший маршрут

Для маршрутизаторов 3, 5 и 8 параметры C и D соответственно составляют: $C_3 = 9,8$ Кбит и $D_3 = 0,05$ с; $C_5 = 20,2$ Кбит и $D_5 = 0,05$ с; $C_8 = 12,5$ Кбит и $D_8 = 0,15$ с.

Итак, для найденного кратчайшего маршрута параметр AD-APES составляет: $C_{tot} = 42,5$ Кбит и $D_{tot} = 0,25$ с. Для заданного потока T-SPEC (2 К, 15 Мбит/с, 1024 Кбит/с, 32 К), проходящего путь через 3-й, 5-й и 8-й маршрутизаторы, и требуемой сквозной задержки сети, $d = 0,5$ в соответствии с формулой (1) рассчитана гарантированная скорость передачи $R' = 1200$ Кбит/с.

ВЫВОДЫ

В работе показано применение уравнений «min-plus» алгебр для анализа сети с предоставлением интегрированных услуг. Рассмотрена работа протоко-

ла RSVP, определены сквозная задержка сети и соответствующая ей резервированная скорость передачи.

1. Показана возможность управления ресурсами сети в зависимости от требований к задержке по типу трафика.

2. Предложен вариант анализа динамики процессов передачи по сети с использованием аналитических уравнений одной из разновидностей идемпотентных алгебр.

3. Предложен вариант расчета маршрута передачи с учетом ограничений на задержку.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Олифер В.Г., Олифер Н.А.* Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы: учеб. для вузов. — 3-е изд. — СПб.: Питер, 2006. — 958 с.
2. *Cohen G., Gaubert S. and Quadrat J.-P.* Max-plus algebra and system theory: where we are and where to go now // *Annual Reviews in Control.* — 1999. — № 23(1):207. — P. 219.
3. *Таненбаум Э.Э.* Компьютерные сети. — 4-е изд. — СПб.: Питер, 2007. — 992 с.
4. *Boudec J.-Y. Le and Thiran P.* Network calculus viewed as a min-plus system theory applied to communication networks // *Technical Report.* — 1998. — 34 p.

Поступила 27.05.2009

МЕТОД КІЛЬКІСНОГО ОЦІНЮВАННЯ ВІДПОВІДЕЙ У СИСТЕМАХ ТЕСТУВАННЯ ЗНАНЬ ВІДКРИТОГО ТИПУ

І.В. ЗАМАРУЄВА, Л.М. БАДЬОРІНА

Розглянуто метод оцінювання знань тих, кого навчають, шляхом порівняльного аналізу тексту відповіді із заданим еталонним текстом та визначенням їх релевантності, наведено практичні розрахунки. Особливу увагу приділено дослідженню лінгвістичної моделі подання знань на основі синонімії термінів предметної галузі.

ВСТУП

Одним із найважливіших критеріїв засвоєння навчального матеріалу є рівень володіння майбутнім фахівцем понятійним апаратом із відповідної навчальної дисципліни. Сьогодні оцінювання відповідей, написаних у довільній формі, тими, кого навчають, є виключно прерогативою викладача, що вносить певну долю суб'єктивізму. З іншого боку, розвиток сучасних інформаційних технологій надає нові можливості щодо моделей, методів і принципів побудови автоматизованих систем контролю знань для тих, хто навчається. Одним із шляхів підвищення якості засвоєння навчального матеріалу та об'єктивізації контролю знань тих, хто навчається, є розробка знання-орієнтованого підходу до автоматизованого контролю знань. Вони подані у вигляді довільного природномовного тексту (ПМТ) та базуються на методах розпізнавання, вилучення і формалізації знань.

Загальна принципова особливість задачі оцінювання знань полягає в тому, що предметом аналізу для викладача є саме зміст відповіді (тексту) або знання, які там містяться. Урахування цієї особливості обумовлює необхідність вирішення проблеми моделювання процесу розуміння людиною текстової інформації. Основними компонентами знань із погляду їх формалізованого подання є поняття, відношення між поняттями, характеристики понять і відношень, а також модальності цих характеристик [1].

Отже, сутність знання-орієнтованого підходу до автоматизації задачі оцінювання знань за довільним текстом полягає в тому, що текст має бути підданий лінгвістичній обробці, спрямованій на розпізнавання в тексті основних компонент знань і встановлення логіко-семантичних зв'язків між ними. Подання знань у вигляді пов'язаної визначеними відношеннями сукупності понять із відповідними характеристиками та іншими атрибутами будемо називати поняттєвою структурою (ПС) змісту вхідного тексту.

Аналіз стану теоретичних робіт у галузі комп'ютерної лінгвістики та штучного інтелекту свідчить про те, що сьогодні відсутній теоретичний апарат, реалізувавши який можна створити програмні засоби автоматизації формування ПС. Водночас, створено достатній теоретичний доробок у цій галузі, який є основою для його узагальнення і подальшого розвитку

в напрямі автоматизації розпізнавання та вилучення знань, які містяться в ПМТ, їх формалізації в інтересах вирішення різноманітних задач, у тому числі й задачі оцінювання знань тих, хто навчається, за відповідями, представленими в ПМТ.

ОЦІНЮВАННЯ ТЕКСТОВИХ ВІДПОВІДЕЙ

Знання — орієнтований підхід до автоматизації оцінювання знань тих, хто навчається, за текстовими відповідями передбачає наявність засобів приведення еталонних відповідей, представлених природною мовою, і відповідей тих, хто навчається, до формалізованого подання у вигляді моделі знань про предметну галузь (ПС). Кожна модель відповіді тих, хто навчається, порівнюється на відповідність із еталонною моделлю. Як було сказано вище, ПС може містити різноманітні логіко-семантичні відношення між поняттями, по кожному з яких необхідно встановлювати ступінь відповідності. Введемо такі обмеження на оцінювання відповідності відповідей еталонному зразку:

- розглядаємо в якості відповідей лише визначення (тлумачення) термінів і понять із певної навчальної дисципліни;
- на множині відношень, які задано для термінів та понять із відповідної навчальної дисципліни, виділимо тільки родо-видові відношення та відношення синонімії.

Визначення поняття — у самому широкому розумінні є логічна операція, в процесі якої розкривається зміст поняття. В основі правил еталонних визначень термінів і понять покладено 7 правил, що вивчаються формальною логікою [2]:

- поняття визначається через родові й видові відмінності;
- визначення повинно мати такий же вимір, що і поняття, тобто обсяг значення поняття, що визначається, і поняття, за допомогою якого здійснюється визначення, мають відповідати одне одному;
- видовою відмінністю має бути ознака або група ознак, які притаманні лише цьому поняттю, і відсутні в інших поняттях, що відносяться до того ж родового поняття;
- визначення не має містити поняття, що визначається, не має визначатися через поняття, яке стає зрозумілим лише через поняття, що визначається;
- визначення не має бути тільки заперечним, оскільки заперечення вказує на відсутні ознаки і не дає суттєвих ознак, що характеризують це поняття;
- визначення не має бути суперечливим з точки зору формальної логіки;
- визначення має бути ясним, чітким і не містити подвійного тлумачення.

Нехай S — множина всіх еталонних визначень понять і термінів із відповідної навчальної дисципліни, поданих у вигляді природно-мовного тексту й укладених за визначеними вище правилами. Множина S є кінцевою й неупорядкованою: $S = \{s_i : 1 \leq i \leq n\}$, де s_i — визначення терміна; n — ціле число.

Сукупність відповідей тих, хто навчається, виражено також природною мовою, позначимо як множину T . Ця множина є підмножиною множини S та має всі її властивості: $T \subset S$; $T = \{t_i : 1 \leq i \leq m\}$, де m — ціле число; $m \leq n$.

Кожна відповідь з множини T може містити терміни і поняття, які пов'язані родо-видовими відношеннями, або відношеннями синонімії з поняттями відповідної еталонної відповіді множини S . Взаємозв'язок термінів і понять у заданій предметній галузі (навчальній дисципліні) представимо у вигляді тезаурусу. Тезаурус — словник, що відбиває семантичні відношення між поняттями в певній предметній галузі й призначений для пошуку заданого слова за його смисловими зв'язками з іншими словами [3].

Структура тезаурусу, як правило, включає такі відношення:

поняття := <рід-вид> <частина-ціле> <синоніми> <антоніми> <асоціації>.

Відношення рід-вид дозволяє включити у пошукове поле більш абстрактні або конкретні поняття. Відношення частина-ціле включає у пошукове поле частини цілого об'єкту. Відношення синонімії й антонімії дозволяє здійснювати пошук синонімів й антонімів. Відношення асоціації різноманітні та індивідуальні за своєю природою і вказують на контекстну залежність пошукового поняття.

Відповідь того, хто навчається, визначається певною структурою понять і термінів, тобто ПС. З урахуванням визначених обмежень кожне поняття в тлумачній частині може описуватися через синоніми.

Елемент e , відносно якого утворюється множина (тобто синонімічний ряд) D_e , назовемо базовим термом, інші елементи множини D_e (слова-синоніми) назовемо залежними термами. Необхідно встановити відповідність між термами еталонного визначення і термами відповіді, спираючись на поняття синонімічної відповідності термів, використовуючи тезаурус. І це, в свою чергу, дасть змогу обчислити показник релевантності та визначити співвідношення базових і еталонних термів.

Таким чином, еталонне визначення слід розглядати як сукупність базових термів e , а відповідь як сукупність термів t , для кожного необхідно знайти відповідний базовий терм [4].

Якщо A — множина термів еталонного визначення, B — множина термів відповіді, то формалізоване подання еталонного визначення і відповіді буде мати такий вигляд:

$$A = \{e_1, e_2, \dots, e_i, 1 \leq i \leq N\},$$

де N — кількість термів еталонного визначення;

$$B = \{t_1, t_2, \dots, t_i, 1 \leq i \leq M\},$$

де M — кількість термів відповіді.

У результаті ми можемо отримати одне з таких співвідношень між множинами A і B .

1. $A = B$ — відповідь того, хто навчається, повністю збігається з еталонною відповіддю.
2. $A \subset B$ — відповідь того, хто навчається, містить всі терми з еталонної відповіді, а також додаткові терми.

3. $B \subset A$ — відповідь того, хто навчається, частково відповідає еталонній відповіді, у ній відсутні деякі базові терми.

4. $A \cap B = \emptyset$ — відповідь того, хто навчається повністю не відповідає еталонній відповіді.

5. $A \cap B \neq \emptyset$ — еталонна відповідь і поточна відповідь спільні терми [4].

Продемонструємо викладене вище на наступному прикладі. Припустимо, що ми маємо еталонне визначення: «Програма — опис алгоритму розв’язання задачі, заданий на мові обчислювальної машини» [3].

В еталонному визначенні виділено ключові базові терми, які відповідають умовам необхідності та достатності правильної відповіді для тих, хто навчається. Інші поняття є додатковими. Вони також можуть мати синонімічні ряди, які не враховуються під час кількісного оцінювання відповіді того, хто навчається. Тобто, для правильної відповіді визначається два необхідних і достатніх поняття, які за правилами побудови тлумачної частини терміну «програма» формують його унікальні відмінні ознаки. Для цих базових термів у тезаурісу можна побудувати такий синонімічний ряд:

Алгоритм := {сукупність правил; послідовність операцій; сукупність дій};

Мова обчислювальної машини := {мова програмування; штучна мова; машинна мова; формальна мова, мова ЕОМ}.

Позначимо через **A1** множину, що визначає синонімічний ряд для поняття «алгоритм», і через **A2** — синонімічний ряд для поняття «мова обчислювальної машини».

Тоді формалізоване подання еталонної відповіді буде мати такий вигляд:

Програма :=

опис {представлен}

A1 \subset {алгоритм; сукупн+правил; послідовн+операцій; сукупн+дій}
розв’язання {вирішення; обчислення}
задач

\wedge

зadan {представлен; опис}

на **A2** \subset {мов+обчислювальн+машин; мов+програмування; машин+мов; формальн+мов; мов+ЕОМ}.

У цьому прикладі поняття, через які відбувається тлумачення, подано як пошукові образи через знак «+» поєднуються слова, які складають термін для заданої навчальної дисципліни, а логічна операція \wedge вказує на обов’язкову наявність двох базових термів. Інші відношення в силу введених раніше обмежень пропущені.

Це представлення є основою для порівняння з поточними відповідями тих, хто навчається. При цьому будемо вважати, терми a (з еталонної відповіді) і b (відповіді того, хто навчається) збігаються повністю, якщо для b знайдено хоча б один пошуковий образ із синонімічного ряду терму a . Тобто, для двох термів a та b можна визначити функцію $f(a, b)$. Вона характеризує показник повноти тлумачення терміну через поняття, що його описують по відношенню синонімії, та приймає значення 1, якщо $b \subset A$, а також приймає значення 0, якщо $A \cap b = \emptyset$.

Тоді для заданого еталонного зразка необхідну і достатню умови правильної відповіді, яку можна записати таким чином:

$$f(a, b) = 1, \text{ якщо } ((\mathbf{A1} \cap \mathbf{B1}) = \emptyset \wedge (\mathbf{A2} \cap \mathbf{B2}) = \emptyset). \quad (1)$$

Оскільки, відповіді тих, хто навчається, можуть бути неповними, тобто не всі ключові поняття, що описують термін, наявні в тлумачній частині, то у випадку відсутності у відповіді хоча б одного ключового терму значення $f(a, b) = 0$. У той же час при кількісному оцінюванні того, хто навчається, є потреба оцінити повноту відповіді за кожним ключовим термом тлумачної частини. Для цього введемо інтервал оцінювання $[0, 1]$. Функція $f(a, b)$ приймає значення 0 або 1 для кожного ключового терму, що входить до еталонного зразка, загальна сума балів за відповідь визначається за формулою:

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n f(a_i, b_i)}{N}, \quad (2)$$

де N — загальна кількість ключових термів тлумачної частини, що підлягають оцінюванню.

Нехай для визначеного еталонного зразка ми маємо таку фактичну відповідь того, хто навчається: «Програма — послідовність операцій над даними, необхідними для обробки інформації та реалізації заданого алгоритму».

Ця відповідь приводиться до формалізованого подання. При цьому формуються пошукові образи кожного слова, що входить до тлумачної частини терміну, і порівнюються з елементами множини $\mathbf{A1}$ (визначає синонімічний ряд для терму «алгоритм»), і $\mathbf{A2}$ (визначає синонімічний ряд для терму «мова обчислювальної машини»). Інші слова також можуть перевірятися із синонімічними рядами термів, які не є ключовими для тлумачення терміну «програма», але вони не враховуються під час оцінювання відповіді того, хто навчається. Після необхідних перетворень формалізоване подання відповіді того, хто навчається буде мати такий вигляд:

Програма :=
 $\mathbf{A1}$ {послідовн+операцій}
над дан
необхідн
обробк/обробок
інформац
реалізац
 $\mathbf{A1}$ {алгоритм}.

Із наведеного прикладу видно, що поняття тлумачної частини терміну «програма» збігаються тільки з множиною $\mathbf{A1}$ еталонного зразка. Причому у відповіді знайдено 2 еквіваленти, оскільки з формули (1) випливає, що вона приймає значення 1, якщо знайдено хоча б один відповідник, тому згортання всіх знайдених відповідників з однієї множини дає значення 1, тобто $f(a_1, b) = 1, f(a_2, b) = 0$.

Кількісна оцінка обчислюється за формулою (2): $K = 0,5$.

Таким чином, якщо привести інтервал $[0, 1]$ до десятибальної шкали оцінювання, то ця відповідь буде мати оцінку 5.

ВИСНОВКИ

Запропоновано метод кількісного оцінювання відповідей тих, хто навчається, який дозволяє визначити і надати кількісну оцінку семантичній відповідності між текстовими відповідями й еталонним визначенням. Сутність терміну полягає у визначенні так званих опорних понять у тлумачній частині еталонної відповіді, пошуку і встановлення відповідності цих понять у відповідях тих, хто навчається, та приведення отриманого результату до кількісної шкали оцінювання. Особливістю методу є урахування тезаурусних відношень між поняттями тлумачної частини, зокрема, рід-вид, частина-ціле, причина-наслідок, а також відношення синонімії.

Це дає змогу певним чином об'єктивізувати процес оцінювання рівня володіння тими, хто навчається, та понятійним апаратом із заданої предметної галузі.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Замаруєва І.В.* Комп'ютерна модель розуміння природно-мовної текстової інформації // Проблемы программирования. — 1999. — № 2. — С. 96–102.
2. *Кондаков Н.И.* Логический словарь-справочник. — М.: Наука, 1975. — 719 с.
3. *Словарь по кибернетике: Св. 2000 ст.* / Под ред. В.С. Михалевича. — 2-е изд. — Киев: Гл. ред. УСЭ им. М.П. Бажана, 1989. — 751 с.
4. *Бадьоріна Л.М.* Метод оцінювання довільних відповідей у комп'ютерних системах тестування знань // Математичні машини і системи. — 2006. — № 4. — С. 138–144.

Надійшла 09.06.2010

УДК 519.24

**КОЛИЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ ОБРАБОТКИ МНЕНИЙ
ЭКСПЕРТОВ ПРИ ОЦЕНКЕ КАЧЕСТВА И
ПЕРСПЕКТИВНОСТИ ПРЕДСТАВЛЕННЫХ ДЛЯ
ФИНАНСИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННЫХ ПРОЕКТОВ**

Ю.А. ЗАК

Предложена методика получения комплексной количественной оценки эффективности представленных на экспертизу проектов на основе обработки мнений группы независимых экспертов и построения ранжировочных рядов на основе предлагаемых в работе комплексных критериев эффективности. В качестве важных показателей результатов экспертизы учитывается рассогласованность мнений отдельных экспертов. Сформулированы ограничения, позволяющие исключить из дальнейшего рассмотрения проекты, не отвечающие заданным требованиям. Предложены модели нелинейного булевого программирования с целью подбора наиболее компетентной группы экспертов для каждого конкретного проекта.

ВВЕДЕНИЕ

Задача экспертизы инновационного проекта состоит в оценке его научного и технического уровня, эффективности использования полученных результатов в экономике и социальной сфере, а также возможностей его выполнения в установленные заданием сроки. На основании экспертизы принимаются решения о целесообразности его выполнения и объемах финансирования. Основным недостатком экспертизы заключается в том, что она в ряде случаев не позволяет объективно и корректно сопоставить и вынести заключение об эффективности и объемах финансирования различных альтернативных проектов.

Данная работа посвящена разработке комплексных подходов и комплексных критериев эффективности оценки качества инновационных проектов, а также математических методов принятия решений в случаях рассогласованности мнений отдельных экспертов.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Как правило, качество представленных для финансирования проектов подвергается экспертизе и оценивается по нескольким независимым критериям.

Таковыми критериями являются:

- научный и инновационный уровни, технологическая новизна, сложность и перспективность разработки;
- перспективы приложения полученных результатов в социальной, политической и экономической сферах, в создании новых рабочих мест, выходе новых видов продукции или услуг на внешний и внутренний рынки;
- соответствие объема разработки, ожидаемой эффективности полученных результатов запрашиваемым объемам финансирования;
- имеющийся научный задел и реальность выполнения разработки на должном научно-техническом уровне и в установленные сроки;
- предлагаемая организация планирования, методов контроля и управления разработкой, распределения работ между соисполнителями, манипулирования денежными, материальными и людскими ресурсами.

Каждый из этих критериев характеризует качество представленного проекта с различных сторон, определяется некоторой совокупностью показателей, отражающих эту сторону и в комплексной оценке качества учитывается с различными весовыми коэффициентами. Структура формирования комплексной оценки может быть представлена некоторым деревом (рисунок).

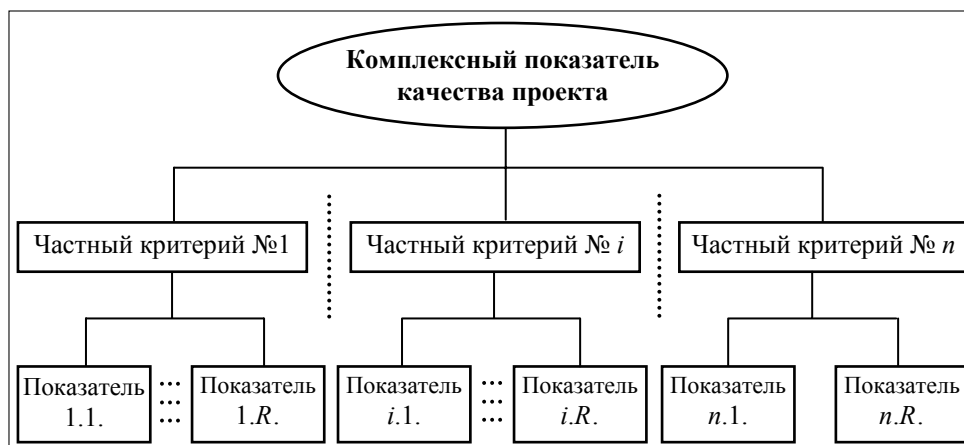


Рисунок. Структура формирования комплексной оценки качества проектов

С помощью весовых коэффициентов $\beta_{11}, \beta_{12}, \dots, \beta_{ir}, \dots, \beta_{nR}$ учитываются веса различных показателей в каждом из частных критериев, а с помощью весовых коэффициентов $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_i, \dots, \alpha_n$ — значимость каждого из локальных критериев в комплексном показателе качества проектов.

Введем следующие обозначения: b_{ir} — некоторая количественная оценка r -го показателя в i -м частном критерии; B_i — некоторая количественная оценка значения i -го частного критерия; E — комплексная оценка качества проекта.

В практике экспертизы несколько независимых экспертов $k = 1, \dots, K$ на основе своих субъективных мнений выставляют оценки $b_{ir}(k)$ по каждому из показателей, на основе которых по принятым заранее правилам, алгоритмам и формульным выражениям вычисляются частные показатели ка-

чества проектов $B_i(k)$, а, затем, также средневзвешенный комплексный показатель эффективности проекта $E(k)$, отражающий мнение k -го эксперта.

В качестве помощи экспертам часто устанавливаются также диапазоны возможных значений каждого из показателей $b_{ir}(k) \in [b_i^1, b_i^2]$, а также диапазоны возможных значений каждого из частных критериев $B_i(k) \in [B_i^1, B_i^2]$. В случае нормированных значений весовых коэффициентов

$$0 \leq \beta_{ir} \leq 1, r = 1, \dots, R; \sum_{r=1}^R \beta_{ir} = 1, i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

$$0 \leq \alpha_i \leq 1, i = 1, \dots, n; \sum_{i=1}^n \alpha_i = 1 \quad (2)$$

устанавливается также диапазон изменения средневзвешенного комплексного показателя эффективности проекта $E(k)$:

$$E^1 = \min_{1 \leq i \leq n} B_i^1 \leq E(k) \leq \max_{1 \leq i \leq n} B_i^2 = E^2, E(k) \in [E^1, E^2], k = 1, \dots, K. \quad (3)$$

Заметим, что в случае выбора весовых коэффициентов в соответствии с условиями (1) и (2) необходимость в установлении диапазона возможных значений для каждого из частных критериев отпадает.

Если k -й эксперт установил значения каждого из показателей всех частных критериев равными $b_{ir}(k) \in [b_i^1, b_i^2]$, то количественная оценка средневзвешенного комплексного показателя эффективности проекта $E(k)$ вычисляется по формуле:

$$E(k) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \sum_{r=1}^R \beta_{ir} b_{ir}(k), k = 1, \dots, K. \quad (4)$$

В качестве частных случаев выбора весовых коэффициентов могут рассматриваться случаи равенства всех весовых коэффициентов

$$\beta_{ir} = \frac{1}{R_i}, r = 1, \dots, R_i, \text{ либо } \beta_{ir} = 1, r = 1, \dots, R_i; i = 1, \dots, n; \quad (5)$$

$$\alpha_i = \frac{1}{n}, i = 1, \dots, n, \text{ либо } \alpha_i = 1, i = 1, \dots, n, \quad (6)$$

т.е. частные критерии определяются как сумма отдельных показателей, а комплексный средневзвешенный показатель эффективности проекта — в виде суммы нормированных значений частных критериев. В некоторых частных случаях значения $B_i(k) \in [B_i^1, B_i^2]$ должны быть представлены только в целых числах и после вычисления по формуле:

$$B_i(k) = \sum_{r=1}^R \beta_{ir} b_{ir}(k), i = 1, \dots, n, k = 1, \dots, K, \quad (7)$$

и на основе выставленных значений $b_{ir}(k)$ округляются субъективно экспертом до ближайшего целого.

Подобная процедура получения комплексной оценки эффективности проекта эксперта принята при экспертизе научных проектов, финансируемых Европейским Союзом. Эти методики отражены в большом количестве публикаций по данной тематике [1–6].

После получения комплексных оценок $E(k)$, $k=1, \dots, K$ в виде (4), представляющих в количественной форме мнения отдельных экспертов, должна быть сформирована результирующая обобщенная комплексная оценка эффективности проекта, отражающая общее мнение экспертизы. Эта оценка в настоящее время формируется на совместном совещании всех независимых экспертов в результате обсуждения и анализа принятых ими решений. В процессе такого обсуждения происходят корректировки некоторых индивидуальных субъективных решений и усреднение после этого индивидуальных, и зачастую уже скорректированных количественных показателей $E(k)$, $k=1, \dots, K$, с учетом весов $\gamma(k)$, отражающих авторитет отдельных экспертов

$$F = \sum_{k=1}^K \gamma(k) * E(k), \quad \gamma(k) > 0, \quad k=1, \dots, K, \quad \sum_{k=1}^K \gamma(k) = 1. \quad (8)$$

В формуле (8), как и в предыдущих выкладках, K — это количество экспертов принимающих участие в оценке эффективности проекта.

На основе вычисленных согласно выражению (8) значений, а в ряде случаев и обобщенных оценок значений частных критериев

$$\bar{B}_i = \sum_{k=1}^K \gamma(k) * B_i(k), \quad i=1, \dots, n, \quad (9)$$

сравнение их с некоторыми граничными (пороговыми) значениями \bar{F}^0 , а также B_i^0 делаются дальнейшие выводы об исключении проекта из дальнейшего рассмотрения, как неудовлетворяющего минимальному уровню поставленных требований. То есть, проект подлежит дальнейшему рассмотрению в случае, если

$$\bar{B}_i \geq B_i^0, \quad i=1, \dots, n, \quad F \geq \bar{F}^0. \quad (10)$$

В соответствии с убыванием вычисленного по формуле (8) значения F происходит ранжирование всех удовлетворяющих требованиям дальнейшего рассмотрения проектов по падению уровня их эффективности и приоритета.

Только в частных случаях возможны ситуации, когда $\gamma(k) = 1/K$, $k=1, \dots, K$, т.е. мнения всех экспертов равнозначны. В большинстве же случаев значения этих весовых коэффициентов формируются на основе процедуры обсуждения поставленной проблемы и устранения разногласий во мнениях экспертов на совещании.

Этап формирования общего мнения и выражения его в некоторой количественной форме носит субъективный характер и является наиболее слабым местом в принятой процедуре коллективной экспертизы проектов. В процессе совещания преимущество очень часто получает не мнение наибо-

лее компетентного в данном частном вопросе специалиста (эксперта), а лица обладающие наибольшим авторитетом, способностями убеждения и наиболее заинтересованного в отстаивании своего мнения. Повышению уровня эффективности принятия решений на этом этапе, в основном, и посвящена данная работа.

Очень часто мнения отдельных независимых экспертов могут существенно расходиться, и значения $B_i(k)$, $i = 1, \dots, n$, и $E(k)$, $k = 1, \dots, K$ отличаться друг от друга в очень значительных пределах. Такое часто бывает и в следствии того, что не все эксперты являются специалистами одинаковой квалификации, способными одинаково правильно оценить различные по своему направлению стороны проекта. Так, например, ученый в данной конкретной области знаний может правильно оценить научную и технологическую новизну, сложность и перспективность разработки, реальность выполнения ее в установленные сроки в условиях выделенных материальных ресурсов. Специалист по менеджменту наиболее силен в оценке организации планирования; методов контроля и управления разработкой; правильности распределения работ между исполнителями; манипулированием во времени денежными, материальными и людскими ресурсами. Экономист, социолог и специалист по маркетингу наиболее компетентен в оценке соответствия предполагаемых материальных и трудовых затрат запрашиваемым объемом финансирования, перспективах приложения полученных результатов в социальной, политической и экономической сфере, а также перспективности создания новых рабочих мест, выхода новых видов продукции или услуг на внешний и внутренний рынки. Именно эти сильные стороны отдельных экспертов с помощью соответствующего подбора весовых коэффициентов целесообразно было бы учесть при формировании на основе вычисленных значений $B_i(k)$, $i = 1, \dots, n$, $k = 1, \dots, K$, обобщенного показателя эффективности проектов. Может быть, в ряде случаев целесообразно привлекать таких специалистов для оценки лишь отдельных сторон разработки.

Важным показателем при принятии заключительных решений является также величина, характеризующая разброс мнений отдельных независимых экспертов, как в значении комплексного показателя эффективности $E(k)$, так и в значениях отдельных частных критериев $B_i(k)$. Именно этот показатель характеризует устойчивость и надежность вычисленного по формуле (8) значения обобщенного показателя эффективности F и степень доверия к его значению.

Представляет также интерес учет особых случаев, когда некоторый проект имеет отдельные чрезвычайно высокие показатели по определенным частным критериям, но не удовлетворяет установленным ограничениям по другим показателям. Так, например, проект открывает совершенно новое направление в отдельной области фундаментальных исследований, но социально-политические результаты этих исследований сегодня оценить очень трудно. В качестве второго примера может быть приведен проект, не содержащий большую научную новизну и не предполагающий развитие новых инновационных технологий, но результаты полученные в нем, имеют большое значение для социально-экономической и политической сферы или охраны окружающей среды, и связаны с расширением рынка, повышением

уровня занятости, а также появлением нового вида услуг и т.п. В методах объективной оценки эффективности и конкурентоспособности проектов должны быть предусмотрены механизмы, препятствующие возможностям исключения таких проектов из дальнейшего рассмотрения.

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА ОБОБЩЕННОГО КОМПЛЕКСНОГО
ПОКАЗАТЕЛЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЕКТОВ.
ДЕТЕРМИНИРОВАННЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ**

Каждый s -й проект, $s = 1, \dots, S$, рассматривается всеми независимыми друг от друга K экспертами $k = 1, \dots, K$. Каждый из экспертов имеет определенный вес $\bar{\gamma}(k)$ в данной тематике. Все весовые коэффициенты удовлетворяют условиям $0 < \bar{\gamma}(k) \leq 1$.

Кроме того, известны значения весовых коэффициентов $0 < \bar{\lambda}_i(k) \leq 1$, определяющие уровень компетентности k -го эксперта в оценках каждого i -го частного показателя.

Значения весовых коэффициентов $\bar{\gamma}(k)$, $\bar{\lambda}_i(k)$ определяются органами, принимающими решение и размещающими заказы на экспертизу проектов, в зависимости от уровня компетентности экспертов в соответствующей области, характеризующей их ученой степенью, научным званием, занимаемой должностью, количеством публикаций, количеством и значимостью выполненных проектов, качеством выполненных прошлым экспертиз и другими показателями.

После преобразований, обеспечивающих выполнение условий нормировки всех весовых коэффициентов, получаем

$$\gamma(k) = \frac{\bar{\gamma}(k)}{\sum_{k=1}^K \bar{\gamma}(k)}, \quad k = 1, \dots, K; \quad (11)$$

$$\lambda_i(k) = \frac{\bar{\lambda}_i(k)}{\sum_{i=1}^n \bar{\lambda}_i(k)}, \quad i = 1, \dots, n, \quad k = 1, \dots, K. \quad (12)$$

Обозначим

$$\mu_i(k) = \frac{\lambda_i(k)\gamma(k)}{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^K \lambda_i(k)\gamma(k)}, \quad i = 1, \dots, n, \quad k = 1, \dots, K. \quad (13)$$

В процессе экспертизы каждый из независимых экспертов $k = 1, \dots, K$ определяет значения каждого из $r = 1, \dots, R_i$ показателей $b_{ir}(k) \in [b_i^1, b_i^2]$ частных критериев $i = 1, \dots, n$, которые должны принадлежать установленному ранее диапазону их возможных значений. Далее в соответствии с выражением (7) вычисляются значения частных критериев $B_i(k)$, $i = 1, \dots, n$, по мнению каждого из экспертов $k = 1, \dots, K$.

$$\min_{i \in I_l} B_i \geq G_l^1, \max_{i \in I_l} B_i \geq G_l^2, l = 1, \dots, L, \quad (17)$$

$$\sum_{i \in J_m} B_i \geq Q_m, m = 1, \dots, M. \quad (18)$$

В случае учета особых случаев (14) ограничения (16)–(18) могут быть представлены в виде:

$$B_i + \rho_i \sum_{i=1}^n \max(0, B_i - B_i^2) \geq d_i, i = 1, \dots, n, \quad (19)$$

$$\min_{i \in I_l} \{B_i + \mathcal{G}_l \max_{1 \leq i \leq n} [\max(0, B_i - B_i^2)]\} \geq G_l^1, \quad (20)$$

$$\max_{i \in I_l} \{B_i + \mathcal{G}_l \max_{1 \leq i \leq n} [\max(0, B_i - B_i^2)]\} \geq G_l^1, l = 1, \dots, L,$$

$$\sum_{i \in J_m} B_i + \nu_m \sum_{i=1}^n \max(0, B_i - B_i^2) \geq Q_m, m = 1, \dots, M. \quad (21)$$

Ограничения (16) требуют, чтобы оценка по каждому i -му частному критерию была не ниже заданной величины d_i . Ограничения (17) накладывают дополнительные требования, предусматривающие наличие одного из частных критериев из каждой l -й группы, по которому наихудшая (или наилучшая) средневзвешенная оценка должна быть выше минимального допустимого уровня G_l^1 или G_l^2 . Ограничения (18) накладывают требования, чтобы средневзвешенная сумма частных критериев каждой m -й группы была не ниже заданного уровня Q_m . В особых случаях (19)–(21) невыполнение этих условий может компенсироваться очень высоким значением некоторого другого j -го частного критерия, существенно превышающего принятые значения. Заметим, что для некоторых частных критериев такие ограничения могут отсутствовать. В определенных случаях экспертизы проектов такие ограничения могут отсутствовать как для всех частных критериев, так и для любых их подмножеств, составляющих различные группы.

Для проектов, у которых выполняется вся система ограничений (16)–(18) (или в общем случае (19)–(21)), вычисляется средневзвешенное значение обобщенного показателя эффективности проекта

$$E(s) = \sum_{i=1}^n \alpha_i B_i(s), \quad (22)$$

где

$$B_i(s) = \begin{cases} \sum_{k \in \bar{K}} \mu_i(k) * \bar{B}_i(s, k), & \text{if } \bar{B}_i(s, k) \leq D_i, k \in \bar{K}, \\ \sum_{k \in \bar{K}_1(s, i)} \mu_i(k) * \bar{B}_i(s, k) + \sum_{k \in \bar{K} / \bar{K}_1(s, i)} \mu_i(k) * \varphi_i[\bar{B}_i(s, k) + D_i(s, k)], & \\ & \text{if } \bar{B}_i > D_i. \end{cases} \quad (23)$$

В формуле (23) \bar{K} — множество всех экспертов; $\bar{K}_1(s, i)$ — подмножество экспертов, которые определили, что значение i -го частного критерия по s -му проекту находится в установленном экспертизой диапазоне и существенно не превышает предусмотренный уровень; $\bar{K}_2(s, i) = \bar{K} / \bar{K}_1(s, i)$ — подмножество экспертов, по мнению которых уровень i -го частного критерия по s -му проекту существенно (на величину $D_i(k)$) превышает предусмотренный уровень, что требует учета этого обстоятельства в общей оценке эффективности этого s -го проекта.

Все рассматриваемые и соответствующие установленной системе ограничений (19)–(21) проекты $s = 1, \dots, S_0$, где $S_0 \leq S$, выстраиваются в ранжировочный ряд в порядке убывания значения комплексного показателя эффективности $E(s)$:

$$\mathcal{G}_1 \succ \mathcal{G}_s \succ \dots \succ \mathcal{G}_{S_0-1} \succ \mathcal{G}_{S_0},$$

$$\text{if } E(\mathcal{G}_1) \geq E(\mathcal{G}_s) \geq \dots \geq E(\mathcal{G}_{S_0-1}) \geq E(\mathcal{G}_{S_0}). \quad (24)$$

СТОХАСТИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОЕКТА

Во многих случаях мнения экспертов, как в оценке отдельных показателей и частных критериев, так и в определении комплексной оценки эффективности проекта существенно различаются. Вследствие этого становится трудно сделать объективный и обоснованный вывод об исключении проекта из рассмотрения как не соответствующего некоторой системе ограничений и требований, а также сформировать окончательную обоснованную и устойчивую оценку его эффективности, отражающую общее мнение всей группы экспертов.

Ниже рассматриваются некоторые стохастические подходы в решении данной задачи.

Средневзвешенное значение каждого в i -го частного критерия в s -м проекте, определяемое k -м экспертом $\bar{B}_i(s, k)$, может рассматриваться как некоторая случайная величина. Значение этой случайной величины, определяемое группой экспертов, характеризуется математическим ожиданием (средним значением)

$$\bar{A}_i(s) = \sum_{k=1}^K \bar{\gamma}_i(k) * \bar{B}_i(s, k), \quad i = 1, \dots, n, \quad s = 1, \dots, S, \quad (25)$$

и дисперсией

$$\sigma^2[A_i(s)] = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K \bar{\gamma}_i(k) * [\bar{A}_i(s) - \bar{B}_i(s, k)]^2, \quad i = 1, \dots, n, \quad s = 1, \dots, S. \quad (26)$$

Определим диапазон возможных значений случайной величины

$$A_i(s) \in [A_i^1(s), A_i^2(s)],$$

где

$$A_i^1(s) = \min_{1 \leq k \leq K} \bar{B}_i(s, k), \quad A_i^2(s) = \max_{1 \leq k \leq K} \bar{B}_i(s, k), \quad i = 1, \dots, n, \quad s = 1, \dots, S. \quad (27)$$

Предположим, что случайные величины $\bar{B}_i(s, k)$ являются независимыми и равновероятными с вероятностями каждого из возможных значений равными $p_k = \frac{1}{K}$, $k=1, \dots, K$. Тогда функция распределения значений случайной величины $A_i(s)$ может быть представлена в виде:

$$p\{A_i(s)\} = \begin{cases} 0, & \text{if } A_i(s) \notin [A_i^1(s), A_i^2(s)], \\ A_i^1(s) + \frac{A_i(s)}{A_i^2(s) - A_i^1(s)}, & \text{if } A_i(s) \in [A_i^1(s), A_i^2(s)]. \end{cases} \quad (28)$$

На основе формулы (28) могут быть вычислены следующие значения:

- $\bar{A}_i^1(s)$ — удовлетворяющие условиям вероятности того, что значение случайной величины $A_i(s)$ будет меньше заданного значения, меньше или равна некоторого наперед заданного значения $p_i^1(s)$;
- $\bar{A}_i^2(s)$ — удовлетворяющие условиям вероятности того, что значение случайной величины $A_i(s)$ будет больше заданного значения, больше или равна некоторого наперед заданного значения $p_i^2(s)$,

$$\begin{aligned} \bar{A}_i^1(s) &= A_i^1(s) + \frac{p_i^1(s) * [E(s, k) - A_i^1(s)]}{A_i^2(s) - A_i^1(s)}, \\ \bar{A}_i^2(s) &= A_i^1(s) + \frac{p_i^2(s) * [E(s, k) - A_i^1(s)]}{A_i^2(s) - A_i^1(s)}, \end{aligned} \quad (29)$$

а также вероятности $P_i^1(s)$ того, что значение случайной величины $A_i(s)$ будет больше или равно некоторому установленному значению $\bar{B}_i^1(s)$, либо вероятности $P_i^2(s)$ того, что значение случайной величины $A_i(s)$ будет не меньше некоторого установленного значения $\bar{B}_i^2(s)$

$$P_i^1(s) = \frac{\bar{B}_i^1(s) - A_i^1(s)}{A_i^2(s) - A_i^1(s)}, \quad P_i^2(s) = \frac{\bar{B}_i^2(s) - A_i^1(s)}{A_i^2(s) - A_i^1(s)}. \quad (30)$$

Несогласованность мнений независимых экспертов при оценке i -го частного критерия в s -м проекте характеризуется величиной дисперсии этой оценки $\sigma^2[A_i(s)]$, и диапазоном различных значений этой величины $[A_i^1(s), A_i^2(s)]$, а также значениями $\bar{A}_i^1(s)$ и $\bar{A}_i^2(s)$, и вероятностями $P_i^1(s)$ и $P_i^2(s)$.

Аналогичным образом могут быть определены математическое ожидание $\bar{F}(s)$, дисперсия $\sigma^2\{F(s)\}$, диапазон возможных значений $F(s) \in [F^1(s), F^2(s)]$, соответствующие пороговые значения $\Phi^1(s), \Phi^2(s)$, а

также $\bar{\Phi}^1(s)$, $\bar{\Phi}^2(s)$ и граничные вероятности $\bar{P}^1(s)$, $\bar{P}^2(s)$ для значений случайной величины $F(s)$ обобщенного показателя эффективности s -го проекта:

$$\bar{F}(s) = \sum_{k=1}^K \gamma(k) * E(s, k), \quad (31)$$

$$\sigma^2\{F(s)\} = \frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K [E(s, k) - \bar{F}(s)]^2, \quad (32)$$

$$F^1(s) = \min_{1 \leq k \leq K} E(s, k), \quad F^2(s) = \max_{1 \leq k \leq K} E(s, k), \quad (33)$$

$$\Phi^1(s) = F^1(s) + \frac{\bar{p}^1(s) * [E(s, k) - F^1(s)]}{F^2(s) - F^1(s)},$$

$$\Phi^2(s) = F^1(s) + \frac{\bar{p}^2(s) * [E(s, k) - F^1(s)]}{F^2(s) - F^1(s)}, \quad (34)$$

$$\bar{P}^1(s) = \frac{\bar{\Phi}^1(s) - A_i^1(s)}{A_i^2(s) - A_i^1(s)}, \quad \bar{P}^2(s) = \frac{\bar{\Phi}^2(s) - A_i^1(s)}{A_i^2(s) - A_i^1(s)}. \quad (35)$$

В задачах стохастической оценки качества проектов детерминированные ограничения (16)–(18) могут быть заменены вероятностными ограничениями вида:

$$p\{B_i(s) \geq d_i^1\} \geq \bar{p}_i, \quad i = 1, \dots, n, \quad s = 1, \dots, S; \quad (36)$$

$$p\{\min_{i \in I_l} B_i(s) \geq G_l^1\} \geq \bar{P}_l^1, \quad p\{\max_{i \in I_l} B_i(s) \geq G_l^2\} \geq \bar{P}_l^2, \quad l = 1, \dots, L, \quad s = 1, \dots, S; \quad (37)$$

$$p\{\sum_{i \in J_m} B_i(s) \geq Q_m\} \geq \bar{P}_m^3, \quad m = 1, \dots, M, \quad s = 1, \dots, S. \quad (38)$$

Для подмножества проектов $S^0 = \{1, \dots, S_0\}$, где $S_0 \leq S$, удовлетворяющих системе ограничений (36)–(38), построение ранжировочного ряда производится по убыванию значения

$$W_s = \bar{F}(s) + \omega * \sqrt{\sigma^2\{F(s)\}}, \quad (39)$$

где $0 < \omega \leq 1$ — некоторый коэффициент, учитывающий рассогласования мнений экспертов (на практике целесообразно выбирать $0,1 \leq \omega \leq 0,3$), либо по убыванию показателя H_s , определяемого по формуле:

$$p\{F_s \geq H_s\} \geq \eta, \quad (40)$$

где $\eta > 0,5$ — некоторое установленное заранее пороговое значение вероятности, либо по возрастанию значения вероятности \bar{p}_s , определяемой по формуле:

$$p\{F_s \geq \bar{F}\} \geq \bar{p}_s, \quad (41)$$

где \bar{F} — некоторое установленное граничное значение обобщенного показателя эффективности проектов.

Понятно, что при равных значениях математического ожидания обобщенного показателя эффективности для проектов s_1 и s_2 , т.е. при $\bar{F}(s_1) = \bar{F}(s_2)$, значения H_s и \bar{p}_s будут большими и, следовательно, предпочтение получит тот проект, у которого значение среднеквадратического отклонения обобщенного показателя эффективности $\sigma^2\{F(s)\}$ будет меньше, т.е. проект, у которого мнения экспертов при оценке отдельных показателей и частных критериев более согласованы. То есть, проект s_1 будет предпочтительнее проекта s_2 , если

$$\bar{F}(s_1) \geq \bar{F}(s_2), \text{ и } \sigma^2\{F(s_1)\} \leq \sigma^2\{F(s_2)\}. \quad (42)$$

При этом условия $\bar{F}(s_1) > \bar{F}(s_2)$ и $\sigma^2\{F(s_1)\} \leq \sigma^2\{F(s_2)\}$, либо $\bar{F}(s_1) \geq \bar{F}(s_2)$ и $\sigma^2\{F(s_1)\} < \sigma^2\{F(s_2)\}$ могут рассматриваться как условия явного предпочтения проекта s_1 проекту s_2 .

ЗАДАЧА ОПТИМАЛЬНОГО ПОДБОРА ЭКСПЕРТОВ

В банке данных экспертов, кроме персональных данных, содержится следующая количественная информация о каждом k -м эксперте: t_{kg} — показатель, определяющий уровень компетентности k -го эксперта в g -й области знаний. Дифференциация области знаний может осуществляться с любой наперед заданной точностью. Значение t_{kg} может измеряться, например, в диапазоне $t_{kg} \in [0; 1,0]$. Самому высокому уровню компетентности соответствует значение 1,0, а отсутствие компетентности в данном вопросе — значение 0; θ_{ki} , $i = 1, \dots, n$, — некоторый вектор, компоненты которого суть действительные положительные числа в диапазоне $\theta_{kg} \in [0; 1,0]$, определяющие относительную компетентность данного эксперта в оценке каждого частного критерия эффективности проекта. Значения θ_{ki} нормированы, т.е.

$$\theta_{ki} \geq 0, \quad i = 1, \dots, n, \quad \sum_{i=1}^n \theta_{ki} = 1; \quad C_{kg} \text{ — стоимость привлечения } k\text{-го эксперта}$$

к экспертизе проекта из g -й области знаний.

Пусть заданы значения весовых коэффициентов α_i , $i = 1, \dots, n$, удовлетворяющие условиям нормировки (2) и определяющие вес каждого из частных критериев в комплексном показателе эффективности проекта. Задача

выбора из банка данных оптимального состава группы, состоящей из K экспертов ($M > K$), обеспечивающей наиболее правильную и объективную экспертизу данного проекта, может быть сформулирована в виде следующей задачи нелинейного булевого программирования

$$\psi(x_1, \dots, x_k, \dots, x_M) = \sum_{i=1}^n \alpha_i \left(\frac{K}{n} - \sum_{k=1}^M \theta_{ki} x_k \right)^2 \rightarrow \min \quad (43)$$

в условиях следующей системы ограничений:

Если $x_k = 1$, то необходимо, чтобы

$$t_{kg} x_k \geq T_g. \quad (44)$$

Здесь g — индекс различных показателей в частных критериях оценки эффективности проектов.

$$x_k = 0 \vee x_k = 1, \quad k = 1, \dots, M, \quad \sum_{k=1}^M x_k = K, \quad (45)$$

$$\sum_{k=1}^M C_{kg} x_k \leq \bar{C}_0, \quad (46)$$

$$\min_{1 \leq k \leq M} \theta_{ki} x_k \geq L_i, \quad i = 1, \dots, n. \quad (47)$$

Неравенство (46) определяет ограничение на максимальную стоимость проведения экспертизы, а выражение (47) — ограничение на требуемый уровень компетентности при выборе экспертов для оценки i -го частного критерия.

В математической модели (43)–(47) приняты следующие обозначения: x_k — булева переменная, определяющая, привлекается ли k -й эксперт к экспертизе данного проекта ($x_k = 1$) или нет ($x_k = 0$); M — количество экспертов, информация о которых содержится в банке данных; T_g — минимальное значение уровня компетентности в g -й области знаний, при котором эксперт может быть включен в данную группу (некоторое число $T_g \in [0, 100]$); \bar{C}_0 — допускаемая (граничная) стоимость экспертизы; L_i — минимальное значение уровня компетентности группы экспертов, необходимое для оценки i -го частного критерия (некоторое число $L_i \in [0, 1, 0]$). Это число определяет количество экспертов в группе.

Ограничение (44) не допускает возможности включения в состав группы экспертов, уровень компетентности которых в данной области знаний ниже заданного. Это позволяет уже на предварительном этапе решения задачи на основе отсева некомпетентных в данной области знаний экспертов сократить количество рассматриваемых булевых переменных до величины $M_1 \leq M$. Ограничение (46) предусматривает недопустимость превышения стоимости экспертизы проекта выше некоторого уровня \bar{C}_0 . С помощью ограничения (47) удастся включить в состав группы экспертов специали-

стов, способных с заданным уровнем компетентности оценить каждый частный критерий эффективности проекта. Так, например, не допустимыми являются такие ситуации, когда в составе группы есть только такие специалисты, которые способны компетентно оценить только научную, технологическую и инновационную сторону проекта. Однако они не в состоянии сделать правильных выводов о возможности и перспективах выхода полученных в проекте результатов на внутренние и внешние рынки, влияние полученных результатов на социальную и политическую сферы. Эти эксперты также не могут дать объективное заключение о структуре и организации управления разработкой, правильности манипулирования материальными, стоимостными и трудовыми ресурсами.

В качестве критерия оптимальности (43) выбран некоторый квадратичный функционал, учитывающий относительную средневзвешенную (в зависимости от весов отдельных частных критериев в комплексном показателе эффективности проекта и компетентности экспертов в оценке каждого частного критерия) равномерность распределения компетентности экспертов в оценке всех сторон проекта (т.е. каждого из частных критериев). Выражение (43) должно обеспечить при формировании коллективного мнения экспертов приблизительно с равной компетентностью (с учетом выбранных весовых коэффициентов важности частных критериев в обобщенном показателе эффективности) оценить все стороны и показатели проекта.

Сформулированная задача (43)–(47) является задачей квадратического булевого программирования большого размера. Получение достаточно эффективного приближенного решения этой задачи не входит в рамки данной работы и может быть получено, например, генетическими алгоритмами.

ВЫВОДЫ

1. Предложена методика получения количественной комплексной оценки эффективности представленных на экспертизу проектов на основе обработки мнений независимых экспертов. Эта оценка формируется в виде некоторой функции количественных оценок значений отдельных показателей и частных критериев эффективности проекта, выставленных экспертами. Сформулированы ограничения, позволяющие исключить из дальнейшего рассмотрения проекты, не отвечающие заданным требованиям.

2. В отличие от используемых в практике методик, в качестве важных показателей результатов экспертизы учитывается рассогласованность мнений отдельных экспертов как в оценке отдельных частных критериев, так и в комплексной оценке эффективности проекта. Предложено давать определенные дополнительные преимущества проектам, имеющим высокие и превосходящие установленный уровень по отдельным частным критериям показатели, и в ряде случаев не исключать их из дальнейшего рассмотрения даже в условиях, когда они не соответствуют установленному по отдельным другим показателям граничному уровню.

3. Предложены стохастические алгоритмы обработки отличающихся друг от друга мнений экспертов, позволяющие получить устойчивые и надежные выводы относительно эффективности проекта, целесообразности

исключения проектов из дальнейшего рассмотрения и построения ранжировочных рядов эффективности представленных на экспертизу проектов.

4. Сформулирована в виде модели нелинейного булевого программирования задача подбора наиболее компетентной группы экспертов каждого конкретного проекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Инновационная деятельность МП: учеб. пособ.* — <http://www.dist-cons.ru/modules/innova/section7.html>.
2. *Грановский Ю.В.* Об оценке эффективности научных исследований // *Научно-ведческие исследования, 2008: сб. науч. тр.* — М.: РАН. ИНИОН, 2008. — С. 193–210.
3. *Азгальдов Г.Г., Костин А.В.* К вопросу о термине «инновация» // *Труды лаборатории В.Н. Лившица.* — М.: Изд. ЦЭМИ РАН, 2009. — С. 62–71.
4. *Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (вторая редакция).* — М.: Экономика, 2000. — 193 с.
5. *Heesen M.* Innovationsportfoliomanagement. Bewertung von Innovationsprojekten in kleinen und mittelgroßen Unternehmen der Automobilzulieferindustrie. — Gabler, 2009. — 303 p.
6. *Сойфер В.Н.* Новый механизм экспертизы научных проектов. — http://www.rfbr.ru/old/pub/vestnik/V6_96/SOIFER.ru.html.

Поступила 16.01.2010

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРИНЯТЫХ РЕШЕНИЙ

В.В. КРЮЧКОВСКИЙ, Д.В. ХОДАКОВ

Детально проанализированы процессы реализации принятых решений применительно к предприятию. Разработаны математические модели реализации принятых решений управления. Процессы подготовки, принятия и реализации принятых решений органически объединены в единый процесс, обеспечивающий одну целевую функцию — решение проблемы оптимального управления системой (объектом управления), что устраняет существовавший ранее разрыв между подготовкой, принятием решений и их реализацией.

ВВЕДЕНИЕ

Современное состояние теории и практики принятия и исполнения решений, как основы интеллектуальной поддержки современной управленческой деятельности, характеризуется множеством различных направлений и концептуальных подходов [1–3]. Управленческие решения имеют важное значение в обеспечении нормального функционирования и развития предприятия.

Жизненный цикл принятия и реализации решений (ЖЦР) управления обобщенно может быть представлен состоящим из трех фаз, каждая из которых состоит из отдельных последовательных этапов (рис. 1) [4].

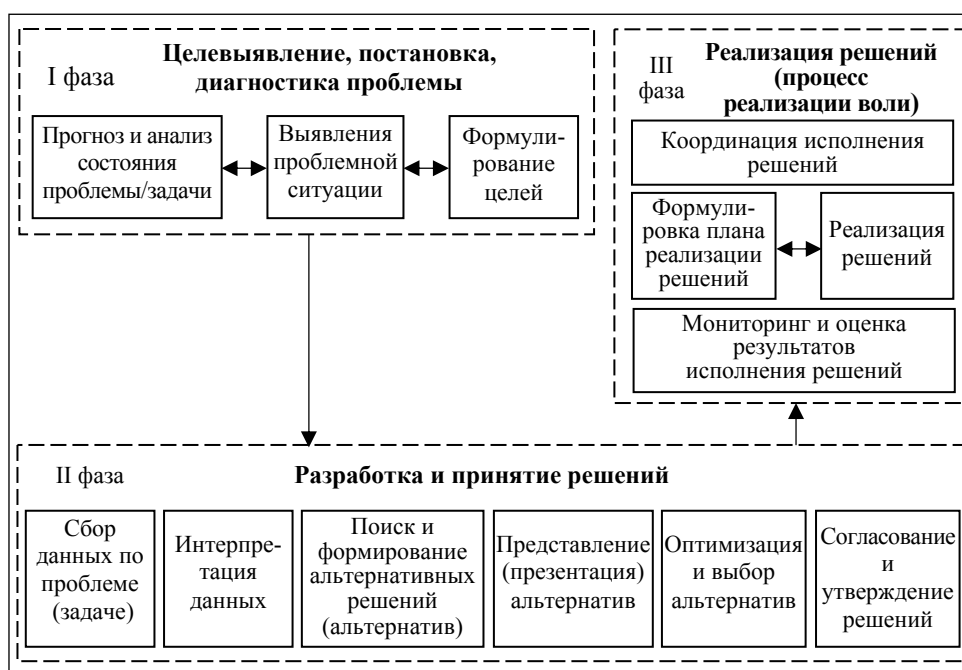


Рис. 1. Жизненный цикл подготовки принятия и реализации решений

Наименее исследованной фазой является фаза реализации. В то же время управление реализацией принятых решений является существенно необходимым, так как оно должно обеспечивать устойчивое развитие предприятия (фирмы, организации). Процессы исполнения решений органически входят в ЖЦР. Объединение в единое целое подготовки, принятия и реализации решений является эффективным методологическим подходом к проблеме принятия решений.

В качестве объекта управления рассматриваются процессы функционирования и развития предприятия, в которые поступают принятые решения. Каждое решение должно быть реализовано в заданный срок T_k . В зависимости от динамических свойств предприятия, как объекта управления, процесс реализации решения может развиваться по траекториям 2, 3 или 4, представленных на рис. 2.

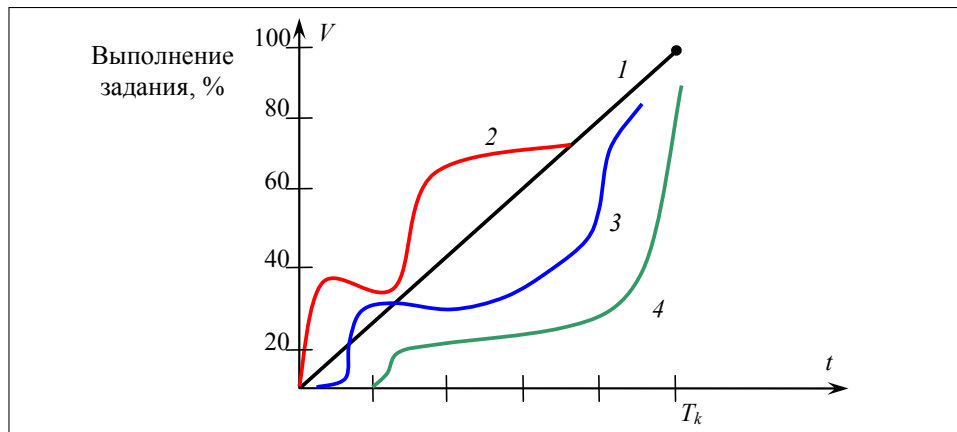


Рис. 2. Виды реализации решений

Желаемая траектория реализации представлена на рис. 2 прямой 1. Такой вид траектории свидетельствует о равномерном виде реализации. Фактически всегда существуют отклонения от равномерного вида реализации и поэтому возникает задача управления этим процессом. Необходимо периодически в течение времени t определенным образом воздействовать на объект.

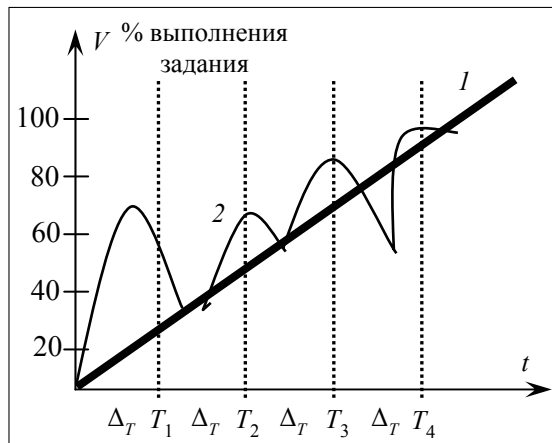
Управление реализацией решений может осуществляться двумя способами: заданием уровня точности или контролем траектории в определенные, наперед заданные, моменты времени.

Цель исследования. Исполнение принятых решений коллективом или отдельным человеком всегда связано с принятием решения более низкого уровня. При этом реализация принятых решений часто задерживается из-за неготовности персонала предприятия к их выполнению. Использование инициатив и мотивации исполнителей может дать дополнительный положительный эффект к ожидаемым результатам принятого решения. Уровни принятия решения и реальных исполнительских действий связаны через систему обеспечения реализации принятых решений. Результаты исполнения решений сравниваются с ожидаемыми. Полученная информация является основой совершенствования процесса реализации принятых решений.

Для предприятия фаза реализации принятых решений имеет очень важное значение, ибо она обеспечивает управление устойчивым функционированием и развитием предприятия. Процессы реализации принятых решений органически входят в жизненный цикл принятия и реализации решений. Объединение в единое целое подготовку, принятие и реализацию принятых решений можно рассматривать как новый методологический подход к процессу интеллектуальной деятельности человека — разрешению возникающих проблем.

К сожалению, фаза реализации принятых решений является наименее исследованной, а иногда и вызывающей споры о целесообразности ее включения в ЖЦР. Поэтому целью данной работы является формализация управления реализацией решений контролем траектории в заданные моменты времени и заданием уровня точности. Формализация процессов принятия и реализации принятых решений во многом определяет перспективы развития автоматизированных информационно-управляющих систем, степень их эффективности и интеллектуализации.

УПРАВЛЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИЕЙ РЕШЕНИЙ КОНТРОЛЕМ ТРАЕКТОРИИ В ЗАДАННЫЕ МОМЕНТЫ ВРЕМЕНИ



Постановка задачи. Пусть контроль хода траектории исполнения (реализации принятого решения) осуществляется через равные интервалы времени Δ_T (рис. 3).

Время цикличности Δ_T контроля, исходя из теории централизованного контроля, определяется динамическими характеристиками процесса реализации, требуемой точностью измерений и обработки информации [3, 4]:

Рис. 3. Управление реализацией решений контролем в заданные моменты времени: 1 — желаемая траектория реализации решения; 2 — траектория реального выполнения решений

$$\Delta_T = \frac{\Delta x}{\max\left(\frac{dx}{dt}\right)}, \quad (1)$$

где Δx — квант отсчета контролируемой величины (траектория реализации решения); $\max\left(\frac{dx}{dt}\right)$ — максимальное значение скорости изменения контролируемой величины. Однако вычисление Δ_T по выражению (1) приво-

дит к получению завышенной величины цикла контроля, что вызывает избыточно частые проверки [4, 6].

В данной работе принимается равномерная дискретизация, а точность воспроизведения оценивается среднеквадратичным отклонением в узловых точках. Таким образом, определение величины Δ_T сводится к решению задачи о выборе рационального шага дискретизации непрерывного случайного параметра.

Концепция решения. Выбираем в качестве узловых точек такие, для которых среднеквадратичное отклонение будет наибольшим, гарантируя, таким образом, что при оценке точности в любых других узловых точках среднеквадратичное отклонение будет меньше. Предполагая, что дискретизации подлежит стационарная случайная функция времени, а продолжительность непрерывной функции значительно превосходит интервал дискретизации, определим среднеквадратичную ошибку воспроизведения как

$$\bar{\varepsilon}^2 = M[y(t_i) - x(t_i)]^2.$$

При ступенчатой аппроксимации воспроизводящая функция может быть записана в следующем виде:

$$y(t_i) = x(t_i - \Delta_T),$$

где Δ_T — интервал дискретизации. Таким образом,

$$\bar{\varepsilon}^2 = M[x(t_i - \Delta_T) - x(t_i)]^2.$$

Раскрывая скобки учтем, что $M[x^2(t_i)] = M[x^2(t_i - \Delta_T)] = B_{xx}(0)$, а $M[x(t_i)x(t_i - \Delta_T)] = B_{xx}(\Delta_T)$, где $B_{xx}(\tau)$ — корреляционная функция дискретизируемого сигнала $x(t)$. Вследствие четности $B_{xx}(\tau)$ получим:

$$\bar{\varepsilon}^2 = 2[B_{xx}(0) - B_{xx}(\Delta_T)],$$

или

$$B_{xx}(\Delta_T) = B_{xx}(0) - \frac{\bar{\varepsilon}^2}{2}.$$

Таким образом, если известна корреляционная функция и задано максимально возможное значение среднеквадратичного отклонения $\bar{\varepsilon}^2$, то интервал дискретизации можно определить по отношению:

$$\Delta_T = B_{xx}^{-1} \left[B_{xx}(0) - \frac{\bar{\varepsilon}^2}{2} \right],$$

где символом B_{xx}^{-1} обозначена функция, обратная корреляционной.

Определение интервала дискретизации в том случае, когда корреляционная функция задана графически, показано на рис. 4.

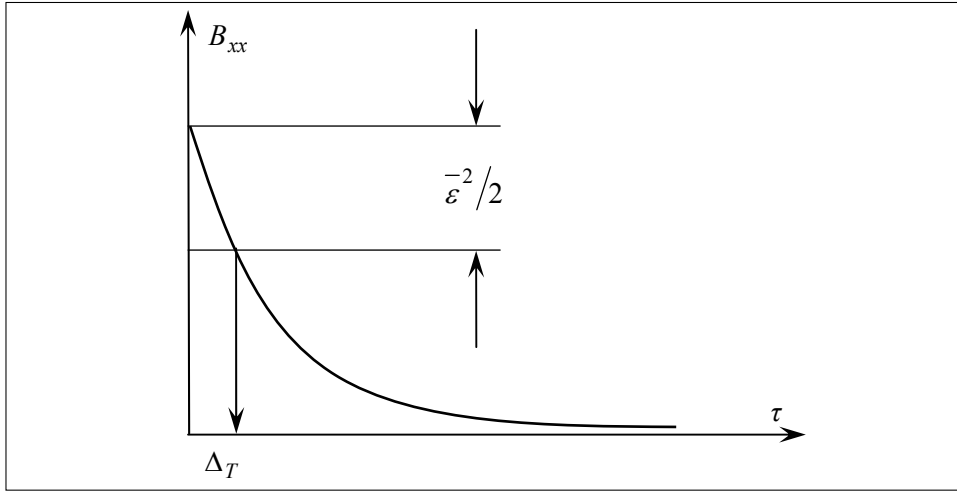


Рис. 4. Определение интервала дискретизации по корреляционной функции сигнала

Если предварительные данные о непрерывном процессе отсутствуют (корреляционная функция неизвестна), то для определения интервала дискретизации может быть использован прием, описанный в [7]. По некоторой реализации задается интервал дискретизации Δ_T^* и находится среднеквадратичное отклонение:

$$\overline{\varepsilon_1^{*2}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ x \left[t + (i+1)\Delta_T^* \right] - x(t - i\Delta_T^*) \right\}^2.$$

Далее определяется среднеквадратичное отклонение на том же отрезке при вдвое большем интервале дискретизации:

$$\overline{\varepsilon_2^{*2}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left\{ x \left[t + (i+2)\Delta_T^* \right] - x(t - i\Delta_T^*) \right\}^2.$$

Таким же образом определяются $\overline{\varepsilon_3^{*2}}, \overline{\varepsilon_4^{*2}}, \dots, \overline{\varepsilon_m^{*2}}$ — среднеквадратичные отклонения при интервалах дискретизации $3\Delta_T^*, 4\Delta_T^*, \dots, m\Delta_T^*$. Строится график зависимости $\overline{\varepsilon_k^{*2}}$ от величины интервала дискретизации $k\Delta_T^*$.

Построенная зависимость стремится к пределу $\overline{\varepsilon_\infty^{*2}}$, соответствующему дисперсии непрерывной функции. Таким будет среднеквадратичное отклонение при выборе интервала дискретизации, превосходящего интервал корреляции (значения двух соседних отсчетов при этом статистически независимы). По допустимой величине среднеквадратичного отклонения $\overline{\varepsilon_0^{*2}}$ находим по графику (рис. 5) допустимый интервал дискретизации.

При линейной аппроксимации воспроизводящая функция внутри интервала дискретизации определяется выражением:

$$y(t') = x(t_i) + [x(t_{i+1}) - x(t_i)] \frac{t' - t_i}{t_{i+1} - t_i}, \text{ где } t_i \leq t' \leq t_{i+1}.$$

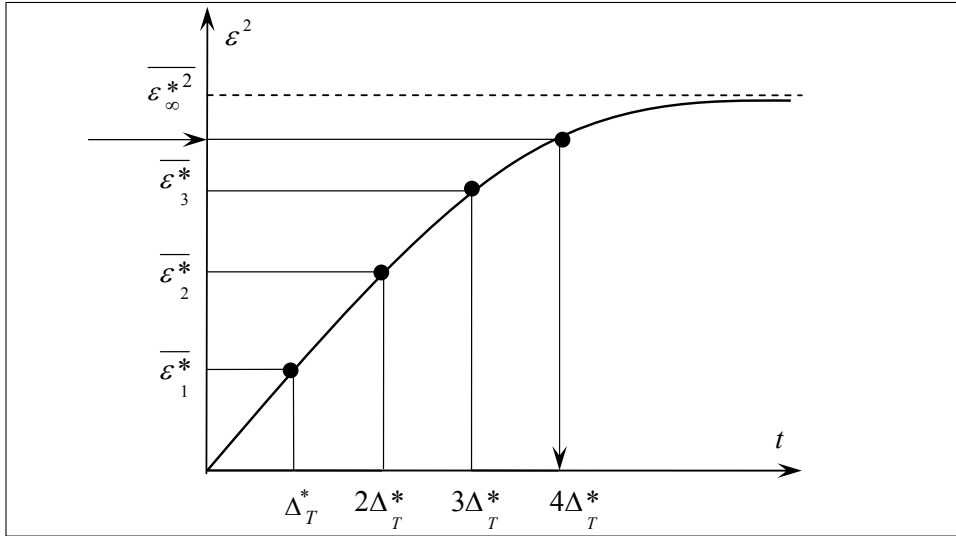


Рис. 5. Определение интервала дискретизации по среднеквадратичной ошибке

Обозначим $\frac{t' - t_i}{t_{i+1} - t_i} = \frac{t' - t_i}{\Delta_T} = \chi$. Тогда

$$y(t') = x(t_i) + [x(t_{i+1}) - x(t_i)]\chi = x(t_i)[1 - \chi] + \chi x(t_{i+1}).$$

Среднеквадратичная ошибка воспроизведения равна:

$$\overline{\varepsilon^2} = M[x(t') - y(t')]^2 = M[x(t') - x(t_i)(1 - \chi) - \chi x(t_{i+1})]^2.$$

Последние выражение в скобках возведем в квадрат. Принимая во внимание, что $M[x(t_i)]^2 = B(0)$; $M[x(t')x(t_i)] = B(t' - t_i) = B(\tau)$ и $r(\Delta_T) = B(\Delta_T)/B(0)$ — нормированная корреляционная функция, а так же тот факт, что среднеквадратичная погрешность максимальна, если узловые точки выбрать в середине интервала, т.е. $\chi = \frac{t' - t_i}{t_{i+1} - t_i} = \frac{1}{2}$, среднеквадратичное

отклонение ε_{\max}^2 запишется в виде:

$$\overline{\varepsilon_{\max}^2} = B(0) \left[1,5 - 2r\left(\frac{\Delta_T}{2}\right) + 0,5r(\Delta_T) \right].$$

Таким образом, для заданного значения среднеквадратичного отклонения ε_0^2 выбранная величина интервала дискретизации Δ_T должна подчиняться соотношению:

$$\varepsilon_0^2 \geq 1,5B(0) - 2B\left(\frac{\Delta_T}{2}\right) + 0,5B(\Delta_T). \quad (2)$$

УПРАВЛЕНИЕ РЕАЛИЗАЦИЕЙ РЕШЕНИЙ ЗАДАНИЕМ УРОВНЯ ТОЧНОСТИ

Постановка задачи. В зависимости от динамических свойств организационно-технической системы как объекта управления принятое решение

реализуется таким образом, чтобы траектория реализации решения развивалась согласно намеченной цели.

Зададимся некоторым уровнем точности δ — возможным отклонением от процесса реализации принятого решения. При достижении границ $\pm \delta$ необходимо выработать управляющие воздействия. Графически это иллюстрируется на рис. 6 в моменты А, В, С, D, E.

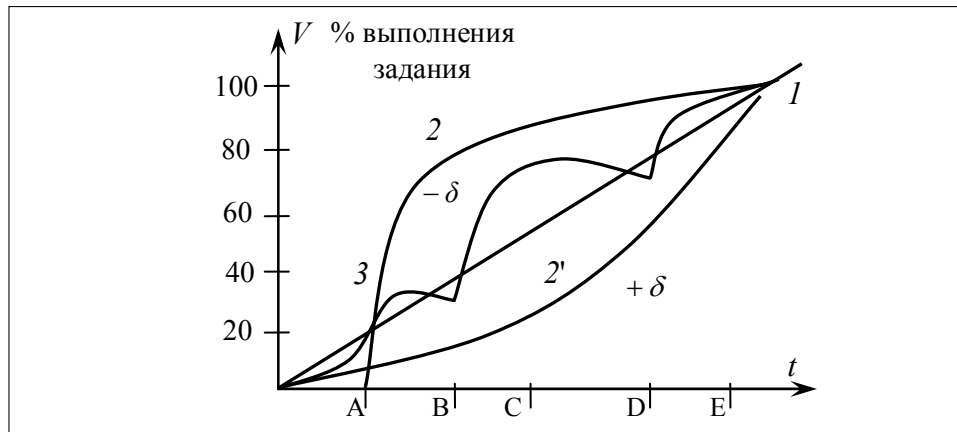


Рис. 6. Управление реализацией решений: 1 — желаемая траектория; 2 — траектория реального выполнения; 3 — управляемая траектория решений

Для реального управления процессами реализации решений необходимо знание траектории реализации решения. Для технических систем может быть получено аналитическое описание закона траектории, для управленческих решений, реализуемых людьми, для сложных организационных систем аналитическое определение законов траектории реализации решений является более сложной задачей. В этом случае используют накопление статистических данных. Для получения статистических данных в работе в качестве объекта исследования использовалось крупное производственное объединение, имеющее в своем составе разнородные структуры: административно-управленческий аппарат (АУА), служба здравоохранения, производственные цеха, научный отдел, транспортные цеха (подразделения), цех питания, РСУ, вспомогательные цеха и т.п.

Обработанные результаты наблюдений за ходом реализации управленческих решений представлены на рис. 7. Здесь по оси ординат отмечены объем выполняемого задания (решения) в относительных единицах, а по оси абсцисс — время в относительных единицах. В связи с этим вначале необходимо графическим моделям, представленным на рис. 7, дать математическое описание. Анализ графиков показывает, что их с определенной степенью точности можно аппроксимировать решениями дифференциального уравнения второго порядка

$$\ddot{X}(t) + a_1 \dot{X}(t) + a_0 X(t) = b, \tag{3}$$

где $b = \text{const}$, отображающая входное воздействие.

Ступенчатое воздействие в правой части выражения (3) выбрано потому, что решение этого уравнения может быть сведено к коэффициенту b , который характеризует процент выполнения решений в долях единицы (единица соответствует 100%).

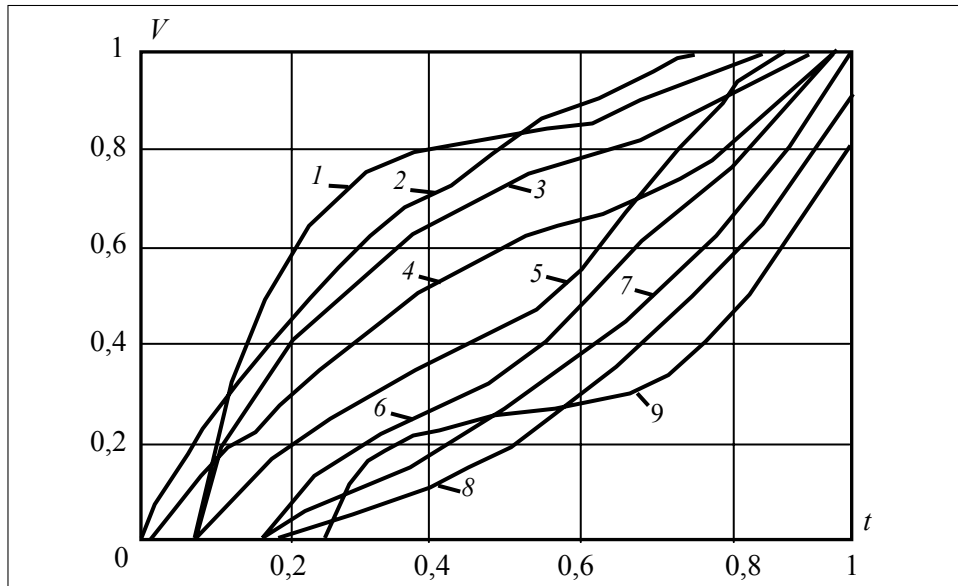


Рис. 7. Графики выполнения решений подразделениями крупной организации (предприятия): 1 — транспортные подразделения; 2 — АУА; 3 — строительные участки и подразделения; 4 — промышленные цеха; 5 — отдел здравоохранения; 6 — отделы торговли и общественного питания; 7 — научные подразделения; 8 — отдел маркетинга; 9 — учебные подразделения

Концепция решения. Если для выражения (3) принять начальные условия $X(0) \approx X^0$ и $\dot{X}(0) = \dot{X}^0$, то получим решение в виде:

$$x(t) = C_1 e^{\lambda_1 t} + C_2 e^{\lambda_2 t} + \frac{b}{a_0}, \quad (4)$$

где λ_1 и λ_2 — корни характеристического уравнения, а C_1, C_2 определяются из начальных условий.

Экспериментальные кривые адекватны кривым вида (4) при действительных и отрицательных λ_1 и λ_2 , то есть задача сводится к нахождению a_1, a_0, b таким образом, чтобы заданная кривая $f(t)$ могла быть представлена как (4) и являлась, таким образом решением уравнения (3).

Кривую $f(t)$ запишем в виде $f(t) = y(t) + M$, где $M = \frac{b}{a_0} = \text{const}$, установившееся значение, которое может быть определено, поэтому примем M известным. Для $y(t)$ применим согласно (3) экспоненциальную аппроксимацию:

$$y(t) = A_1 e^{\lambda_1 t} + A_2 e^{\lambda_2 t}. \quad (5)$$

$A_1, A_2, \lambda_1, \lambda_2$ можем определить, используя экспериментальные значения $Y(0), Y(1), Y(2), Y(3)$, которые обозначим соответственно y_0, y_1, y_2, y_3 . Если будут найдены λ_1 и λ_2 , будем рассматривать их в качестве корней характеристического уравнения $\lambda^2 + a_1 \lambda + a_0 = 0$ для (3). На основании теоремы Виета

$$a_0 = \lambda_1 \lambda_2; \quad a_1 = -(\lambda_1 + \lambda_2). \quad (6)$$

Далее рассмотрим систему

$$\begin{cases} y_0 = A_1 + A_2; \\ y_1 = A_1 e^{\lambda_1} + A_2 e^{\lambda_2}; \\ y_2 = A_1 e^{2\lambda_1} + A_2 e^{2\lambda_2}; \\ y_3 = A_1 e^{3\lambda_1} + A_2 e^{3\lambda_2}. \end{cases} \quad (7)$$

Воспользуемся для решения системы уравнений (7) методом Прони. Определим коэффициенты разностного уравнения k -го порядка (с постоянными коэффициентами)

$$y_{m+2} + C_1 y_{m+1} + C_0 y_m = 0. \quad (8)$$

При этом заметим, что функция $y_m = A_1 e^{\lambda_1 m} + A_2 e^{\lambda_2 m}$ будет удовлетворять уравнению (8), и тогда можно записать

$$\begin{cases} y_2 + C_1 y_1 + C_0 y_0 = 0, \\ y_3 + C_1 y_2 + C_0 y_1 = 0. \end{cases} \quad (9)$$

Система уравнений (9) при $\Delta = y_0 y_2 - y_1^2 \neq 0$ решается:

$$C_0 = \frac{-y_2^2 + y_1 y_3}{\Delta}; \quad C_1 = \frac{-y_0 y_3 + y_1 y_2}{\Delta}, \quad (10)$$

и если оказывается, что C_0 и C_1 , определяемые формулами (10), таковы, что характеристическое уравнение для выражения (8)

$$p^2 + C_1 p + C_0 = 0 \quad (11)$$

имеет действительные различные положительные корни p_1 и p_2 , то получим решение поставленной задачи:

$$\lambda_1 = \ln p_1 \quad \text{и} \quad \lambda_2 = \ln p_2.$$

Система (7) не всегда может иметь удовлетворяющее решение, так как еще требуется, чтобы λ_1 и λ_2 были отрицательными числами. Если решение (7) не приводит к цели, естественно, в этом случае необходимо использовать большую «экспериментальную выборку» $\{y_m \mid m = \overline{1, n}\}$. Рассмотрим пример, иллюстрирующий метод Прони для нахождения коэффициентов уравнения (3) (исходные данные для расчета сведены в таблицу):

Таблица. Исходные данные для нахождения коэффициентов управления (3)

X	0	1	2	3
y_m	$y_0 = 0$	$y_1 = 2,7005$	$y_2 = 2,9682$	$y_3 = 2,9964$

Определим по формулам (10) $C_0 = 0,115$ и $C_1 = -1,11$. Значения C_0 и C_1 подставим в уравнение (11) и получим $p^2 + 1,11p + 0,115 = 0$.

Корнями данного уравнения будут $p_1 = 0,9943$, $p_2 = 0,1155$. Значит

$$\lambda_1 = \ln 0,9943 = -0,0060; \quad \lambda_2 = \ln 0,1155 = -2,1638.$$

Используя выражение (6) находим $a_0 = 0,129$; $a_1 = 2,170$. При $M = 3$ получим $b = 0,387$.

Определив коэффициенты дифференциального уравнения второго порядка, можно получить динамическую модель выполнения решения уравнения.

Пусть в административно-управленческий аппарат поступает то или иное решение управления для реализации, являющееся ступенчатым воздействием на систему, и надо выполнить задание в срок Δt . В зависимости от динамических свойств организации как системы, процесс выполнения задания будет развиваться по траектории, которую можно представить в виде решения дифференциального уравнения так, как это показано на рис. 8. Желаемой траекторией выполнения решения управления является прямая 3. Могут быть отклонения от такого вида траектории и возникает задача управления этим процессом. Таким управляющим воздействием могут быть воздействия типа δ -функции со знаком плюс или минус. Физический смысл подачи воздействий δ -функции — это задание, установленное организации. Необходимо найти моменты приложения этих воздействий на интервале Δt .

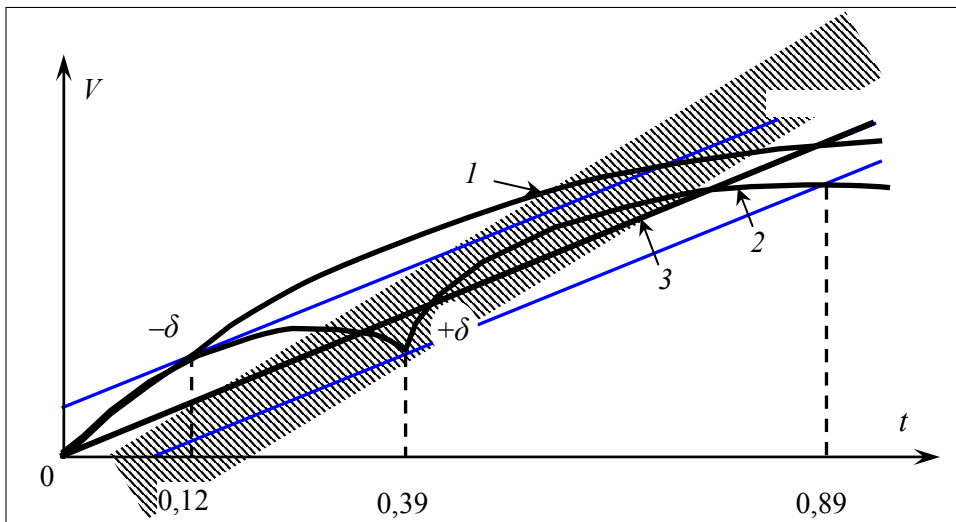


Рис. 8. Результаты синтеза оптимального контроля: 1 — траектория реального выполнения решений; 2 — траектория выполнения решения при оптимальном контроле; 3 — желаемая траектория выполнения решения

Управляющее воздействие $u(t) = \pm\delta(t)$, где $\delta(t)$ — дельта-функция.

Задача для системы

$$\ddot{X} + a_1\dot{X} + a_0X = \pm\delta \quad (12)$$

состоит в выявлении последовательности подачи сигналов вида $\pm\delta$ для того, чтобы

$$|X(t) - at| \leq \varepsilon,$$

где ε — зона нечувствительности на интервале времени $[0, t_k]$.

Уравнение, описывающее динамику объекта, представляется в виде

$$\ddot{X}(t) + a_1 \dot{X}(t) + a_0 X(t) = u(t). \quad (13)$$

Пусть в начальный момент времени $t = 0$, $X(0) = 2$. Заменим $Y = X - \alpha t$. Система (13) примет вид:

$$\begin{cases} \dot{y} + a_1 (\dot{y} + \alpha) + a_0 (y + \alpha t) = \pm \delta, \\ y(0) = 2 - \alpha, \end{cases} \quad (14)$$

так как на уравнение (12) в начальный момент времени наложено условие $X(0) = 2$. От системы (14) можно перейти к эквивалентной системе

$$\dot{y} + a_1 (y + \alpha t) + a_0 \left(z + \frac{\alpha}{2} t^2 \right) \times \int_0^1 \delta(\tau) d\tau = u(t),$$

$u(t)$ принимает значения $+1$ или -1 (релейное управление). Причем, поскольку на вход системы в начальный момент времени подана δ -функция, то $u(0) = +1$. Начальные условия для (15) имеют вид

$$y(0) = X(0), \quad z(0) = 0.$$

Представим систему (14) в матричном виде:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -a_1 & -a_0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} -\alpha a_1 t - \frac{a_0 \alpha}{2} t^2 \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u. \quad (16)$$

Таким образом, задача оптимального по времени управления траекторией системы (13), где имеется в виду оптимальное по быстродействию возвращение ее на заданную прямую αt , с помощью δ -функции сводится к задаче оптимального по времени перехода системы с помощью релейных функций из текущего состояния

$$\begin{bmatrix} y(t) \\ z(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X(t) - \alpha t, \\ y(0) + \int_0^1 X(\tau) d\tau - \alpha \frac{t^2}{2} \end{bmatrix} \quad (17)$$

в начало координат.

Такая задача, являясь задачей синтеза оптимального по быстродействию управления, имеет решение в виде релейной функции, принимающей значение ± 1 . Знак управления зависит только от текущего состояния системы (16), а все пространство состояний системы разделено на две области: одна, в которой уравнение принимает значение $+1$, другая, в которой -1 . Граница раздела этих областей называется поверхностью переключения, поскольку при переходе этой границы управление «переключается», т.е. меняет знак на противоположный. Поэтому, для того, чтобы синтезировать указанное оптимальное управление, необходимо выяснить, с какой стороны от поверхности переключения находится состояние (17) системы (16). Моменты переключения релейного управления системы (16), соответствуют моментам выхода на поверхность переключения.

Для линейной системы $\dot{X} = A(t)X + bu + f(t)$ поверхность переключения имеет вид:

$$X = - \int_t^{t+\tau} e^{A(t-\tau)} b \operatorname{sgn}(W^1(\tau) e^{A(t-\tau)} b) d\tau - \int_t^{t+\tau} e^{A(t-\tau)} f(\tau) d\tau, \quad (18)$$

где \dot{X} — производная фазовых координат системы; X — вектор фазовых координат систем; $A(t)$ — матрица параметров системы, зависящая от текущего времени; b — вектор-столбец; u — управление; $f(\tau)$ — вектор единичного возмущающего воздействия; $W^1(\tau)$ — релейная функция, аппроксимирующая поверхность переключения, связанная с релейно-линейным переключением; $W^1(0)b=0$ — условие, принятое в теории релейно-линейного управления.

Поскольку для системы (16)

$$e^{A(t-\tau)} = e^{\begin{bmatrix} -a_1 & a_0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix}(t-\tau)} = \begin{bmatrix} -a_1\alpha + a_0 - a_0\alpha \\ \alpha a_0 \end{bmatrix},$$

$$a_1 = \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} [e^{\lambda_1(t-\tau)} - e^{\lambda_2(t-\tau)}], \quad a_0 = e^{\lambda_1(t-\tau)} - \lambda_1 a_1,$$

где

$$\lambda_1, \lambda_2 = -\frac{a_1}{2} \pm \sqrt{\frac{a_1^2}{4} + a_0}$$

корни характеристического полинома, а векторы b и $f(\tau)$ для формулы (16) имеют вид:

$$b = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad f(t) = \begin{bmatrix} -a_1\alpha\tau - \frac{a_0\alpha}{2}\tau^2 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

Следовательно, из формул (17) и (18) получаем выражение для поверхности переключения:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} y \\ z \end{bmatrix} &= - \int_t^{t+\tau} \begin{bmatrix} -a_1\alpha + a_0 \\ \alpha \end{bmatrix} \operatorname{sgn}\left(\frac{\tau}{\lambda_1 - \lambda_2}\right) d\tau - \\ &- \int_t^{t+\tau} \begin{bmatrix} -a_1\alpha + a_0 - a_0\alpha \\ \alpha a_0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -a\alpha\tau - a_0\alpha\tau^2 \\ 0 \end{bmatrix} d\tau = \\ &= \begin{bmatrix} \frac{a_1}{\lambda_1 - \lambda_2} - \frac{\lambda_2}{\lambda_1 - \lambda_2} \\ 1 \\ \frac{1}{\lambda_1 - \lambda_2} \end{bmatrix} (\Gamma(t+r, s) - \Gamma(t, s)) \quad (s = \pm 1, r \geq 0), \\ \Gamma(t, s) &= \left[\frac{a_0\alpha}{2} e^{-\lambda r} \left(\frac{\tau^2}{\lambda_1} + \frac{2\tau}{\lambda_1^2} + \frac{2}{\lambda_1^3} \right) + a_1\alpha e^{-\lambda_1\tau} \left(\frac{\tau}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_1^2} - \frac{s}{\lambda_1} e^{-\lambda_1\tau} \right) \right] + \end{aligned}$$

$$+ \left[\frac{a_0 \alpha}{2} e^{-\lambda_2 t} \left(\frac{\tau^2}{\lambda_2} + \frac{2\tau}{\lambda_2^2} + \frac{2}{\lambda_2^3} \right) + a_1 \alpha e^{-\lambda_2 \tau} \left(\frac{\tau}{\lambda_2} + \frac{1}{\lambda_2^2} - \frac{s}{\lambda_2} e^{\lambda_2 \tau} \right) \right].$$

Если переключения производить в момент пересечения фазовой траектории системы (16) с поверхностью переключения Q , то будет выход на «скользящий режим», поскольку текущее состояние (17) системы (16) постоянно «уходит» из начала координат. Это соответствует постоянному отклонению интегральной кривой системы (13) от заданной прямой αt и для удержания его на нуле следует фактически постоянно изменять знак управления. Для системы же (13) требуется очень частая подача δ -функции на ее вход. Целесообразно осуществлять переключения лишь в случае, когда

$$|X(t) - \alpha t| = |y(t)| > \varepsilon.$$

Произведен расчет по формуле (15) при $a_1 = 1,5$; $a_0 = 0,25$; $\alpha = 0,1$.

Получено, что на интервале $t_k = 0,89$ требуется подача двух δ -функций: 1) в момент времени $t = 0,12$ – δ -функция; 2) в момент времени $t = 0,39$ – δ -функция (рис. 8). Таким образом, для каждого предприятия, имеющего свой набор коэффициентов a_1, a_0 , и, следовательно, и свою индивидуальную кривую выполнения заданий (интегральную кривую системы (13)), необходимо по формуле (19) рассчитать моменты контроля, т.е. моменты переключения управления системы, описываемой выражением (16), выполнения данного задания, обеспечивающего оптимальное управление процессом выполнения заданий ЖЦР.

Оптимальность управления выражается в минимально необходимой частоте контроля или управляющих воздействиях, с помощью которых обеспечивается процесс выполнения заданий с точностью ε . Если данные траектории будут друг от друга в пределах точности ε , отпадает необходимость в контрольных операциях. Повышая требовательность и ответственность к исполнителям, можно оценить результаты этой работы по индивидуальным траекториям исполнительской дисциплины. Чем выше частота контроля, тем слабее исполнительная дисциплина, и наоборот — чем частота ниже, тем лучше ведется работа по выполнению заданий.

ВЫВОДЫ

Детально проанализированы процессы реализации принятых решений применительно к предприятию. Разработаны два вида моделей реализации принятых решений управления: основанные на контроле реализации в заданные моменты времени и основанные на выработке задания требуемого уровня точности.

Показано, что рассмотренные математические модели управления выполнением заданий могут быть использованы, если известны траектории выполнения этих заданий исполнителями (графики исполнительской дисциплины) и заданы возможные отклонения δ от процесса реализации. Объединены в единый процесс управления процессы принятия и реализации решений, что обеспечивает единство целевой функции: решение в едином

цикле задач развития предприятия. Обеспечение такой непрерывности устраняет разрыв между принятием решений и реализацией этих решений. Объединение в единое целое подготовки, принятия решений и реализации принятых решений можно рассматривать как новый методологический подход к процессу реализации устойчивого развития предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Фатхутдинов Р.А.* Разработка управленческого решения. — М.: ЗАО «Бизнес-школа «Интел-Синтез»», 1977. — 208 с.
2. *Петров Э.Г., Новожилова М.В., Гребенюк И.В., Соколова Н.А.* Методы и средства принятия решений в социально-экономических и технических системах. — Херсон: ОЛДІ-плюс, 2003. — 380 с.
3. *Гатієнко Г.М., Снитюк В.Є.* Експертні технології прийняття рішень: монографія. — Київ: ТОВ «Маклаут», 2008. — 44 с.
4. *Reilly K.D.* Integrating knowledge acquisition methods // Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Men and Cybern., Atlanta, October 14–17. — 1986. — **1**. — P. 557–562.
5. *Темников Ф.Е.* Теоретические основы информационной техники. — М.: Энергия, 1971. — 124 с.
6. *Шенброт И.М., Гинзбург М.Я.* Расчет точности систем централизованного контроля. — М.: Энергия, 1970. — 272 с.
7. *Ицкович Э.Л.* Определение необходимой частоты измерений при дискретном контроле // Автоматика и телемеханика. — 1961. — № 2. — С. 78–85.

Поступила 29.05.2009

ПРО ВИБІР СТРАТЕГІЇ ОПОДАТКУВАННЯ В ЕКОНОМІЧНІЙ СИСТЕМІ ЗА НАЯВНОСТІ МОНОПОЛІСТІВ

А.П. МАХОРТ

Досліджено умови рівноваги економічної системи, що знаходиться під дестабілізуючим впливом монополізму та потенційної появи інфляції. Описано стан рівноваги, в якому компенсовано дію дестабілізуючих чинників. Визначено стратегію оподаткування, яка забезпечує реалізацію саме цього стану рівноваги економічної системи.

ВСТУП

Важливим чинником стабілізації економічної системи є відсутність в ній арбітражу [1, 2]. Тому функціонування економічних систем можна розуміти як їх еволюцію від одного стану рівноваги до іншого. За такого розгляду достатньо обмежитись дослідженням саме станів рівноваги, залишивши без уваги динаміку переходів між ними. Поведінка економічної системи описується певним набором характеристик. Кожному стану рівноваги відповідають свої значення характеристик економічної системи. Є задані характеристики, що визначають початковий стан економічної системи. Також є характеристики, що можуть набувати різних значень, залежно від того, в якому стані знаходитиметься економічна система в наступний момент часу свого функціонування. Усі можливі значення таких економічних характеристик визначаються з умови рівноваги, яка передбачає відсутність арбітражу в економічній системі. Внаслідок того, що економічна система майже завжди має не один стан рівноваги, а певний їх набір, недостатньо лише описати їх. Деякі рівноважні стани економічної системи можуть виявитись неефективними, або навіть дискримінаційними для окремих її суб'єктів, особливо у випадку наявності виробників-монополістів в економічній системі. Важливо зауважити, яким чином буде реалізовано той чи інший стан рівноваги. Тоді з усіх станів рівноваги можна виокремити один, який забезпечуватиме найефективніше функціонування економічної системи. Попередні дослідження [3, 4] дали змогу з'ясувати, що елементом керування поведінкою економічної системи є стратегія оподаткування.

Мета роботи — визначити оптимальний для всіх суб'єктів економічної системи стан рівноваги та вказати стратегію оподаткування, яка забезпечить реалізацію саме цього стану рівноваги. Висновок про оптимальність стану рівноваги можна зробити, наприклад, оцінивши інтервал, в якому знаходяться значення рівноважних економічних характеристик, і для вибраних характеристик цей інтервал не повинен виходити за задані межі.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ЕКОНОМІКИ

Нехай функціонування економічної системи відбувається протягом певного визначеного періоду часу. Саме в цей період часу і досліджуватимемо пове-

дінку економічної системи. Вважатимемо, що економічна система утворена l споживачами. З усіх споживачів лише n спроможні також і виробляти товари. Таким чином, вони спроможні самостійно підтримувати своє функціонування. Інші $l - n$ споживачів функціонують завдяки зовнішньому фінансуванню. Врахуємо обов'язкову наявність оподаткування суб'єктів економічної системи. Тоді зовнішнім фінансуванням споживачів є кошти, отримані в результаті оподаткування виробників. Крім того, вважатимемо, що економічна система взаємодіє із зовнішнім оточенням.

Споживачів опишемо двома характеристиками. Одна з них — система векторів $\{c_{kj}\}_{k=1}^n$, $j = \overline{1, l}$, що утворює матрицю попиту, або невиробничого споживання $C = \|c_{kj}\|_{k=1, j=1}^{n, l}$. Кожен вектор із цієї системи (або ж стовпчик матриці) задає набір товарів, бажаний для відповідного споживача.

Передбачається, що споживач мав би витратити весь свій прибуток на придбання нових товарів (ненасичуваний споживач). Якщо це не так, то споживач переоцінює свій споживчий набір, який у цьому випадку задаватиметься системою векторів $\{\hat{c}_{kj}\}_{k=1}^n$, $j = \overline{1, l}$, або ж, відповідно, матрицею

$$\hat{C} = \|\hat{c}_{kj}\|_{k=1, j=1}^{n, l}. \text{ Ненасичувані споживачі переоцінку не робитимуть, тому}$$

для них елементи матриць C і \hat{C} співпадатимуть. Щодо елементів матриць C і \hat{C} , виконуватиметься умова $\hat{c}_{kj} \leq c_{kj}$, $k = \overline{1, n}$, $j = \overline{1, l}$. Інша характеристика — це вектор ступенів задоволення потреб споживачів $y = \{y_i\}_{i=1}^l$, який визначає як оподаткований прибуток споживача, отриманий у досліджуваному періоді функціонування економічної системи, співвідноситься з вартістю бажаного для споживання набору товарів. Це означає, що значення компонентів цього вектора мають знаходитися в інтервалі $(0, 1]$. Таким чином, вираз для оподаткованого прибутку кожного суб'єкта економічної системи можна записати у вигляді:

$$\tilde{D}_j(p) = y_j \sum_{s=1}^n c_{sj} p_s, \quad j = \overline{1, l}.$$

Окрім цих характеристик, споживачів, що є водночас і виробниками, опишемо за допомогою вектора цін $p = \{p_i\}_{i=1}^n$, вектора обсягів випуску товарів $x = \{x_i\}_{i=1}^n$ і системи векторів $\{a_{kj}x_j + b_{kj}\}_{k=1}^n$, $j = \overline{1, n}$, які визначають витрати виробництва j -го виробника та утворюють технологічну матрицю $\|a_{kj} + b_{kj} / x_j\|_{k, j=1}^n$. Для таких суб'єктів економічної системи оподаткований прибуток можна також записати і у вигляді, що враховує структуру виробництва, яка задається технологічною матрицею:

$$\tilde{D}_j(p) = \pi_j x_j \left(p_j - \sum_{k=1}^n a_{kj} p_k \right) - \pi_j \sum_{k=1}^n b_{kj} p_k, \quad j = \overline{1, n},$$

де $\pi = \{\pi_i\}_{i=1}^n$ — вектор оподаткування.

Як споживачі, що можуть мати різні стратегії поведінки (або бути ненасичуваними, або ні), так і виробники можуть бути монополістами, або ні. Вважатимемо, що серед виробників є $n - t$ монополістів. Якщо споживачів розумітимемо як суб'єктів, пріоритет яких в адекватному до прибутку виборі свого споживчого набору, то виробники навпаки, насамперед орієнтуються на забезпечення для себе бажаного рівня прибутку. Цей рівень, взагалі-то, мав би прямувати до максимального значення, яке може спрогнозувати виробник. Прогнозування пов'язане зі стратегією поведінки, яка є досяжною відповідному виробнику. Поведінка монополістів ґрунтується на можливості безпосередньо впливати на вектор цін. Тому природно вважати, що монополіські ціни $(p_{t+1}^0, \dots, p_n^0)$ в економічній системі задані. Інші виробники позбавлені такої переваги. Їх стратегії поведінки базуються на прогнозуванні обсягів випуску своїх товарів, які мали б забезпечити відповідний рівень прибутку, достатній для подальшого функціонування. Отже, обсяги випуску товарів немонополістів (x_1^0, \dots, x_t^0) вважаємо відомими. Зауважимо, що наявність монополістів є одним із потенційно кризових чинників в економічній системі. Компенсувати можливий негативний вплив монополістичних явищ можна за допомогою вибору рівнів оподаткування монополістів [3, 4].

Таким чином, початковий стан економічної системи задано такими характеристиками: матрицями $\|a_{kj}\|_{k,j=1}^n$, $\|b_{kj}\|_{k,j=1}^n$, $\|c_{kj}\|_{k=1,j=1}^{n,l}$, $\|\hat{c}_{kj}\|_{k=1,j=1}^{n,l}$, векторами $\{p_i^0\}_{i=t+1}^n$, $\{x_i^0\}_{i=1}^t$, а також деякою початковою стратегією оподаткування виробників $\{\pi_i^0\}_{i=1}^t$. А всі можливі в досліджуваному періоді функціонування економічної системи стани її рівноваги опишемо векторами $\{p_i^t\}_{i=1}^t$, $\{x_i^t\}_{i=t+1}^n$, $\{y_i^t\}_{i=1}^l$, $\{\pi_i^t\}_{i=1}^t$, значення яких задовольнятимуть умові економічної рівноваги. Рівновага ж визначається вимогою, щоб попит в економічній системі не перевищував пропозиції.

Попит в економічній системі будується за оподаткованим прибутком \tilde{D}_i та векторами попиту $\Lambda_i = \{\Lambda_{ik}\}_{k=1}^n$ кожного окремого i -го суб'єкта економічної системи. Вектори попиту залежать від елементів матриць C і \hat{C} . Їх компоненти Λ_{ik} визначають частину прибутку i -го суб'єкта економічної системи, яка витрачається на придбання k -го товару. Справедливі нерівності

$$\sum_{k=1}^n \Lambda_{ik}(p) \leq 1, \quad i = \overline{1, l}.$$

Для тих індексів, що нумерують ненасичуваних споживачів у цьому виразі буде рівність. Відповідно до викладених вище вимог запишемо:

$$\Lambda_{ik}(p) = \frac{\hat{c}_{ki} p_k}{\sum_{s=1}^n c_{si} p_s}, \quad i = \overline{1, l}, \quad k = \overline{1, n}.$$

Пропозиція на k -й товар у відкритій економічній системі може бути записана у вигляді [3, 4]:

$$\psi_k = x_k - \sum_{i=1}^n a_{ki} x_i - \sum_{i=1}^n b_{ki} - e_k + i_k, \quad k = \overline{1, n},$$

де $\{e_i\}_{i=1}^n$ — вектор експорту; $\{i_i\}_{i=1}^n$ — вектор імпорту.

Таким чином, знаходження рівноважних станів економічної системи полягатиме в розв'язанні системи нелінійних нерівностей

$$\frac{1}{p_k} \sum_{i=1}^l \Lambda_{ik}(p) \tilde{D}_i(p) \leq \psi_k, \quad k = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Цю задачу можна дещо спростити, якщо замість векторів попиту споживачів Λ_i , $i = \overline{1, l}$ ввести ефективні вектори $\Lambda_i^* = \{\Lambda_{ik}^*\}_{k=1}^n$, $i = \overline{1, l}$, компоненти яких задовольнятимуть рівностям

$$\sum_{k=1}^n \Lambda_{ik}^*(p) = 1, \quad i = \overline{1, l}.$$

Щоб така умова виконувалась, компоненти векторів попиту Λ_i^* , $i = \overline{1, l}$ достатньо вибрати у вигляді:

$$\Lambda_{ik}^*(p) = \frac{\Lambda_{ik}(p)}{\sum_{s=1}^n \Lambda_{is}(p)} = \frac{\hat{c}_{ki} p_k}{\sum_{s=1}^n \hat{c}_{si} p_s}, \quad i = \overline{1, l}, \quad k = \overline{1, n}.$$

Тоді замість системи нерівностей (1) можна обмежитись розв'язанням системи нелінійних рівнянь:

$$\frac{1}{p_k} \sum_{i=1}^l \Lambda_{ik}^*(p) \tilde{D}_i(p) = \psi_k, \quad k = \overline{1, n}. \quad (2)$$

Надалі розглянемо лише ті стани рівноваги економічної системи, які забезпечуватимуть прибутковість виробників, тобто економічні характеристики мають бути такими, що

$$x_j \left(p_j - \sum_{k=1}^n a_{kj} p_k \right) - \sum_{k=1}^n b_{kj} p_k > 0, \quad j = \overline{1, n}.$$

За цих умов всі економічно прийнятні розв'язки системи нерівностей (1) співпадатимуть з розв'язками системи рівнянь (2) [1].

РІВНЯННЯ РІВНОВАГИ

Отже, розв'язуватимемо систему нелінійних рівнянь (2), яку можна подати у вигляді:

$$\sum_{j=1}^l \hat{c}_{kj} \frac{\sum_{s=1}^n c_{sj} p_s}{\sum_{m=1}^n \hat{c}_{mj} p_m} y_j = x_k - \sum_{i=1}^n a_{ki} x_i - \sum_{i=1}^n b_{ki} - e_k + i_k, \quad k = \overline{1, n}, \quad (3)$$

$$\pi_j x_j \left(p_j - \sum_{k=1}^n a_{kj} p_k \right) - \pi_j \sum_{k=1}^n b_{kj} p_k = y_j \sum_{s=1}^n c_{sj} p_s, \quad j = \overline{1, n}, \quad (4)$$

відносно невідомих $\{p_i\}_{i=1}^l$, $\{x_i\}_{i=t+1}^n$, $\{y_i\}_{i=1}^l$. У результаті того, що не всі виробники в економічній системі є ненасичуваними споживачами, внаслідок їх виробничої діяльності в економічній системі з'явиться невикористаний капітал [1]

$$\sum_{i=1}^l \left(1 - \sum_{k=1}^n \Lambda_{ik}(p) \right) \tilde{D}_i(p) > 0.$$

У майбутньому цей чинник може породжувати негативні для всієї економічної системи процеси, наприклад, інфляційні процеси. Такого розвитку подій бажано уникнути. Означимо функцію невикористаного капіталу суб'єкта економічної системи таким виразом:

$$\begin{aligned} D_i^*(p) &= \left(1 - \sum_{k=1}^n \Lambda_{ik}(p) \right) \tilde{D}_i(p) = \\ &= y_i \left(\sum_{s=1}^n c_{si} p_s - \sum_{k=1}^n \hat{c}_{ki} p_k \right) = y_i \sum_{s=1}^n c_{si}^* p_s, \quad i = \overline{1, l}. \end{aligned} \quad (5)$$

Отже, будемо шукати стан рівноваги економічної системи, в якому ціни на товари $\{p_i\}_{i=1}^l$ забезпечували б якомога менші значення невикористаного капіталу кожного виробника, в той же час кожен суб'єкт економічної системи міг би найповніше задовольнити свої потреби. Математично перша вимога до стану рівноваги означає мінімум функцій (5), а друга вимога — що кожна компонента вектора ступенів задоволення потреб споживачів y має бути якомога ближчою до одиниці. Реалізації такого стану рівноваги можна досягти за допомогою відповідного вибору стратегії оподаткування. Тому вважатимемо, що не тільки рівні оподаткування монополістів $\{\pi_i\}_{i=t+1}^n$ невідомі від початку, а попередньо задані рівні оподаткування інших виробників $\{\pi_i^0\}_{i=1}^t$ імовірно підлягатимуть подальшому коригуванню (але коригування не має бути суттєвим і нова стратегія оподаткування має бути близькою до початкової, щоб не породжувати додаткових негативних впливів).

АЛГОРИТМ РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧІ

Визначимо спочатку додатний вектор цін $\{p_i\}_{i=1}^l$, за якого функція невикористаного капіталу кожного виробника по можливості прямуватиме до свого мінімального значення. Якщо потреби споживачів задовольняються повністю, то для таких споживачів функції невикористаного капіталу матимуть вигляд:

$$\tilde{D}_i^*(p) = \sum_{s=1}^n c_{si}^* p_s, \quad i = \overline{1, l}. \quad (6)$$

Мінімум функцій $D_i^*(p)$, $i = \overline{1, l}$ має забезпечуватись не за рахунок вектора y . Внаслідок цього цілком виправдано надалі шукати мінімум саме функцій $\tilde{D}_i^*(p)$, $i = \overline{1, l}$ за умови, що вектор цін має бути додатним. Частина

споживачів в економічній системі ненасичувані і їх невикористаний капітал є нульовим, відповідно нульовими будуть і їх функції $\tilde{D}_i^*(p)$. Тому задачу мінімізації функцій (6) можна звести до еквівалентної задачі мінімізації функціоналу:

$$F^0(p) = \frac{1}{4} \sum_{j=1}^l \sum_{i=1}^l [\tilde{D}_i^*(p) - \tilde{D}_j^*(p)]^2.$$

Зауважимо, що рівноважні значення цінового вектора безпосередньо пов'язані з вибором певної стратегії оподаткування. Для виробників-немонополістів в економічній системі існувала початкова стратегія оподаткування, яку передбачалось відкоригувати. Мінімум функціоналу $F^0(p)$ мав би досягатись на деякому векторі цін $\{p_i^*\}_{i=1}^t$. Побудованому за цим вектором рівноважному вектору цін $(p_1^*, \dots, p_t^*, p_{t+1}^0, \dots, p_n^0)$ відповідатиме стратегія оподаткування, яка для виробників-немонополістів може істотно відрізнятись від початкової. Суттєві зміни стратегії оподаткування, особливо якщо ймовірно йтиметься про збільшення ставки оподаткування, можуть негативно впливати на економічну систему та її суб'єктів. Крім того, якщо явно не врахувати умову додатності, компоненти вектора $\{p_i^*\}_{i=1}^t$ можуть виявитись від'ємними, що неприйнятно. Тому переформулюємо оптимізаційну задачу, яку розв'язуватимемо, висунувши до неї додаткову вимогу, яка ґрунтується на таких принципах. Розглянемо систему рівнянь:

$$\begin{aligned} \hat{p}_j = & \sum_{k=1}^t \left(a_{kj} + \frac{1}{x_j^0} b_{kj} + \frac{1}{\pi_j^0 x_j^0} c_{kj} \right) \hat{p}_k + \\ & + \sum_{k=t+1}^n \left(a_{kj} + \frac{1}{x_j^0} b_{kj} + \frac{1}{\pi_j^0 x_j^0} c_{kj} \right) p_k^0, \quad j = \overline{1, t}, \end{aligned} \quad (7)$$

де вважається, що спектральний радіус матриці $\left\| a_{kj} + \frac{1}{x_j^0} b_{kj} + \frac{1}{\pi_j^0 x_j^0} c_{kj} \right\|_{k,j=1}^t$ менше одиниці. Її розв'язком є додатний вектор \hat{p} , що відповідає початковій стратегії оподаткування $\{\pi_i^0\}_{i=1}^t$ та повному задоволенню потреб споживачів. Вважатимемо, що в результаті розв'язання задачі мінімізації маємо отримати вектор цін, близький до вектора \hat{p} . Отже, розв'язуватимемо наступну оптимізаційну задачу

$$\min_{p>0} F^1(p), \quad F^1(p) = F^0(p) + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^t [p_j - \hat{p}_j]^2. \quad (8)$$

Сформулюємо умови існування додатного розв'язку цієї оптимізаційної задачі.

Теорема. Нехай додатний вектор \hat{p} розв'язує систему рівнянь (7), а для заданого параметру $0 < \beta \leq 1$ виконуються умови:

$$(1 - \beta)\hat{p}_s \geq l \sum_{k=1}^t \left[\sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* c_{si}^* \right] \hat{p}_k + l \sum_{k=t+1}^n \left[\sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* c_{si}^* \right] p_k^0 - \left(\beta \sum_{k=1}^t \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* \hat{p}_k + \sum_{k=t+1}^n \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* p_k^0 \right) \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{si}^*, \quad s = \overline{1, t}, \quad (9)$$

$$l\beta \sum_{k=1}^t \left[\sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* c_{si}^* \right] p_k + l \sum_{k=t+1}^n \left[\sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* c_{si}^* \right] p_k^0 \geq \left(\sum_{k=1}^t \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* \hat{p}_k + \sum_{k=t+1}^n \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* p_k^0 \right) \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{si}^*, \quad s = \overline{1, t}, \quad (10)$$

де \mathcal{M} множина індексів тих споживачів, які не є ненасичуваними. Тоді існує додатний вектор $\{\bar{p}_i\}_{i=1}^t$, на якому досягатиметься мінімум функціоналу

$$F^1(p) = F^0(p) + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^t [p_j - \hat{p}_j]^2, \quad \text{а його компоненти містяться в інтервалі } \beta \hat{p}_i \leq \bar{p}_i \leq \hat{p}_i, \quad i = \overline{1, t}.$$

Доведення. Запишемо необхідні та достатні умови існування мінімуму задачі (8). Вимагатимемо існування розв'язку $\{\bar{p}_i\}_{i=1}^t$ системи рівнянь

$$\begin{aligned} \frac{\partial F^1(p)}{\partial p_s} &= \sum_{j=1}^t \sum_{i=1}^l \tilde{D}_i^*(p) \frac{\partial \tilde{D}_i^*(p)}{\partial p_s} - \sum_{i=1}^l \tilde{D}_i^*(p) \sum_{j=1}^t \frac{\partial \tilde{D}_j^*(p)}{\partial p_s} + \sum_{j=1}^t [p_j - \hat{p}_j] \delta_{js} = \\ &= l \sum_{k=1}^t \left[\sum_{i=1}^l c_{ki}^* c_{si}^* \right] p_k + l \sum_{k=t+1}^n \left[\sum_{i=1}^l c_{ki}^* c_{si}^* \right] p_k^0 - \\ &- \left(\sum_{k=1}^t \sum_{i=1}^l c_{ki}^* p_k + \sum_{k=t+1}^n \sum_{i=1}^l c_{ki}^* p_k^0 \right) \sum_{i=1}^l c_{si}^* + p_s - \hat{p}_s = 0, \quad s = \overline{1, t}, \quad (11) \end{aligned}$$

який, відповідно до вимог теореми, має бути додатним, та виконання нерівностей для деякого довільного ненульового вектора (z_1, \dots, z_t) :

$$\sum_{j=1}^t \sum_{i=1}^l \frac{\partial^2 F^1(p)}{\partial p_i \partial p_j} z_i z_j > 0. \quad (12)$$

Позначимо $z_i^0 = \sum_{k=1}^t c_{ki}^* z_k, \quad i \in \mathcal{M}$.

Врахуємо, що для ненасичуваних споживачів елементи матриць C і \hat{C} співпадають, тому з усіх матричних елементів $c_{ki}^*, \quad k = \overline{1, n}$ відмінними від нуля можуть бути лише ті, що мають індекси $i \in \mathcal{M}, \quad |\mathcal{M}| < l$. Отже,

$$\sum_{j=1}^t \sum_{i=1}^l \frac{\partial^2 F^1(p)}{\partial p_i \partial p_j} z_i z_j = \sum_{i=1}^l |z_i|^2 + l \sum_{i \in \mathcal{M}} |z_i^0|^2 - \left| \sum_{i \in \mathcal{M}} z_i^0 \right|^2.$$

Звідси можна зробити висновок, відповідно до нерівності Коші–Буняковського, що умова (12), яка означає додатню означеність матриці

$$\left\| \frac{\partial^2 F^1(p)}{\partial p_i \partial p_j} \right\|_{i,j=1}^t, \text{ виконуватиметься.}$$

Переконаємось в існуванні додатного розв'язку системи рівнянь (11). Шукатимемо його на компактній опуклій множині

$$\mathcal{W}_1 = \left\{ w_k \in R, \left| \frac{1+\beta}{2} \hat{p}_k - w_k \right| \leq \frac{1-\beta}{2} \hat{p}_k, \quad k = \overline{1, t} \right\}.$$

Систему рівнянь (11) запишемо у вигляді

$$p_s = \tilde{P}_s(p), \quad s = \overline{1, t},$$

де

$$\begin{aligned} \tilde{P}_s(p) = & \hat{p}_s + \left(\sum_{k=1}^t \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* p_k + \sum_{k=t+1}^n \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* p_k^0 \right) \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{si}^* - \\ & - l \sum_{k=1}^t \left[\sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* c_{si}^* \right] p_k - l \sum_{k=t+1}^n \left[\sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* c_{si}^* \right] p_k^0. \end{aligned}$$

Для з'ясування того, чи належить нерухома точка оператора $\tilde{P}(p) = \{\tilde{P}_1(p), \dots, \tilde{P}_t(p)\}$ множині \mathcal{W}_1 , перевіримо умови виконання оцінки:

$$\begin{aligned} \left| \frac{1+\beta}{2} \hat{p}_s - \tilde{P}_s(p) \right| = & \left| l \sum_{k=1}^t \left[\sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* c_{si}^* \right] p_k + l \sum_{k=t+1}^n \left[\sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* c_{si}^* \right] p_k^0 - \right. \\ & \left. - \left(\sum_{k=1}^t \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* p_k + \sum_{k=t+1}^n \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* p_k^0 \right) \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{si}^* - \frac{1-\beta}{2} \hat{p}_s \right| \leq \frac{1-\beta}{2} \hat{p}_s, \quad s = \overline{1, t}. \end{aligned}$$

З цього виразу випливають дві нерівності:

$$\begin{aligned} & l \sum_{k=1}^t \left[\sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* c_{si}^* \right] p_k + l \sum_{k=t+1}^n \left[\sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* c_{si}^* \right] p_k^0 - \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{si}^* \times \\ & \times \left(\sum_{k=1}^t \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* p_k + \sum_{k=t+1}^n \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* p_k^0 \right) \leq (1-\beta) \hat{p}_s, \quad s = \overline{1, t}, \\ & l \sum_{k=1}^t \left[\sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* c_{si}^* \right] p_k + l \sum_{k=t+1}^n \left[\sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* c_{si}^* \right] p_k^0 \geq \\ & \geq \left(\sum_{k=1}^t \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* p_k + \sum_{k=t+1}^n \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{ki}^* p_k^0 \right) \sum_{i \in \mathcal{M}} c_{si}^*, \quad s = \overline{1, t}. \end{aligned}$$

Нескладно переконатись, що обидві нерівності виконуватимуться внаслідок наявності у вимогах теореми виразів (9) і (10). Тому, у відповід-

ності з принципом Шаудера [5], умови теореми гарантують існування нерухомої точки оператора $\tilde{P}(p)$, що належатиме множині \mathcal{U}_1 . Це означає, що оптимізаційна задача (8) має очікуваний розв'язок. Теорему доведено.

Отже, вектор $\{\bar{p}_i\}_{i=1}^t$ уже відомий, знайдемо тепер решту невідомих. Зробимо допоміжну трансформацію умови економічної рівноваги. Вимагатимемо, щоб спектральний радіус матриці $A = \|a_{jk}\|_{j,k=1}^n$ був менше одиниці.

Введемо вектор $\{\bar{\eta}_j\}_{j=1}^l$:

$$\bar{\eta}_j = \frac{\sum_{s=1}^t c_{sj} \bar{p}_s + \sum_{s=t+1}^n c_{sj} p_s^0}{\sum_{m=1}^t \hat{c}_{mj} \bar{p}_m + \sum_{m=t+1}^n \hat{c}_{mj} p_m^0} \geq 1, \quad j = \overline{1, l},$$

та зробимо позначення

$$d_{kj} = \sum_{s=1}^n (E - A)_{ks}^{-1} \hat{c}_{sj},$$

$$b_k = x_k - \sum_{s=1}^n (E - A)_{ks}^{-1} \left[e_s - i_s + \sum_{j=1}^n b_{sj} \right].$$

Щодо останнього позначення вважатимемо також, що

$$x_k^0 > \sum_{s=1}^n (E - A)_{ks}^{-1} \left[e_s - i_s + \sum_{j=1}^n b_{sj} \right], \quad k = \overline{1, t}, \quad (13)$$

$$\sum_{s=1}^n (E - A)_{ks}^{-1} \left[e_s - i_s + \sum_{j=1}^n b_{sj} \right] > 0, \quad k = \overline{t+1, n}.$$

Тоді підсистему рівнянь (3) подамо у вигляді

$$\sum_{j=1}^l d_{kj} \bar{\eta}_j y_j = b_k^0, \quad k = \overline{1, t}, \quad (14)$$

$$\sum_{j=1}^l d_{kj} \bar{\eta}_j y_j = b_k, \quad k = \overline{t+1, n}. \quad (15)$$

Тут, відповідно до позначень, величини $b_k^0, k = \overline{1, t}$ у правій частині виразу (14) будуть відомі, а $b_k, k = \overline{t+1, n}$ у виразі (15) — невідомі. З системи рівнянь (14)–(15) визначимо вектор ступенів задоволення потреб споживачів y так, щоб його компоненти були якомога близькими до одиниці.

Нехай матриця $\|d_{ki}\|_{k,i=1}^l$ не вироджена. Згідно із алгоритмом, запропонованим в [3], запишемо параметричний розв'язок підсистеми рівнянь (14) для вектора $\hat{y}(\gamma) = (\bar{\eta}_1 y_1, \dots, \bar{\eta}_l y_l)$ (вважасмо, що всі потрібні для цього вимоги [1] виконуються):

$$\hat{y}(\gamma) = \left\{ (b^0, f_1) - \sum_{j=t+1}^l (d_j, f_1) \gamma_j y_j^*, \dots, (b^0, f_t) - \sum_{j=t+1}^l (d_j, f_t) \gamma_j y_j^*, \gamma_{t+1} y_{t+1}^*, \dots, \gamma_l y_l^* \right\},$$

де позначено

$$d_j = \{d_{kj}\}_{k=1}^t, \quad j = \overline{t+1, l}, \quad f_i = \{d_{ki}^{-1}\}_{k=1}^t, \quad i = \overline{1, t},$$

$$(b^0, f_i) = \sum_{s=1}^t b_s^0 d_{si}^{-1} > 0, \quad (d_k, f_i) = \sum_{s=1}^t d_{sk} d_{si}^{-1}, \quad k = \overline{t+1, l}, \quad i = \overline{1, t}.$$

Компоненти невідомого вектора параметрів $\gamma = (\gamma_{t+1}, \dots, \gamma_l)$ мають задовольняти умові

$$\sum_{j=t+1}^l \gamma_j = 1 - \gamma_{l+1}. \quad (16)$$

Вектор $y^* = \{y_i^*\}_{i=t+1}^l$ вибирається неоднозначно, так щоб забезпечити виконання нерівностей:

$$(b^0, f_k) \geq (d_j, f_k) y_j^* \quad j = \overline{t+1, l}, \quad k = \overline{1, t}.$$

Вектор параметрів γ визначимо з оптимізаційної задачі

$$\min_{\gamma > 0} F(\bar{\eta}, \gamma), \quad F(\bar{\eta}, \gamma) = \frac{1}{2} \sum_{j=1}^l [\bar{\eta}_j - \hat{y}_j(\gamma)]^2, \quad (17)$$

яку розв'язуватимемо за додаткової умови (16). Така оптимізаційна задача має розв'язок γ^* [3, 4], причому якщо для заданого параметру $0 < \alpha < 1$ вектор $\bar{\eta}$ задовольнятиме умовам:

$$\sum_{j=1}^t \bar{\eta}_j |(d_s, f_j)| \leq \bar{\eta}_s, \quad s = \overline{t+1, l},$$

$$(b^0, f_j) - \sum_{i \in M_j^+} \bar{\eta}_i (d_i, f_j) - \alpha \sum_{i \in M_j^-} \bar{\eta}_i (d_i, f_j) \geq \alpha \bar{\eta}_j, \quad j = \overline{1, t},$$

$$(b^0, f_j) - \alpha \sum_{i \in M_j^+} \bar{\eta}_i (d_i, f_j) - \sum_{i \in M_j^-} \bar{\eta}_i (d_i, f_j) \leq \bar{\eta}_j, \quad j = \overline{1, t},$$

$$M_j^+ = \{k \in [t+1, l], k : (d_k, f_j) > 0\}, \quad M_j^- = \{k \in [t+1, l], k : (d_k, f_j) < 0\},$$

де підмножина $M_s^-, s \in [1, t]$ непорожня, то компоненти вектора $\hat{y}(\gamma^*)$ знаходяться в інтервалі $\alpha \bar{\eta}_i \leq \hat{y}_i = y_i \bar{\eta}_i \leq \bar{\eta}_i, i = \overline{1, l}$.

За визначенням із оптимізаційної задачі (16), (17) вектором $\hat{y}(\gamma^*)$ з підсистеми рівнянь (15) нескладно знайти обсяги випуску товарів монополістами $\{x_i\}_{i=t+1}^n$, вони матимуть вигляд

$$\bar{x}_k = \sum_{j=1}^l d_{kj} \hat{y}_j + \sum_{s=1}^n (E - A)_{ks}^{-1} \left[e_s - i_s + \sum_{j=1}^n b_{sj} \right], \quad k = \overline{t+1, n}, \quad (18)$$

і будуть додатними, що гарантуватиме умова (13).

Отже, вектор цін на товари немонополістів $\{\bar{p}_i\}_{i=1}^t$ визначається з оптимізаційної задачі (8), компоненти вектора обсягів випуску товарів монополістами $\{\bar{x}_i\}_{i=t+1}^n$ задані виразом (18), а компоненти ступенів задоволення потреб споживачів $\{\bar{y}_i\}_{i=1}^l$ знайдемо з оптимізаційної задачі (16), (17). Для того, щоб ці характеристики економічної системи були рівноважними, необхідно узгодити з ними нову стратегію оподаткування. Рівні оподаткування суб'єктів економічної системи у випадку оптимального задоволення потреб споживачів та мінімальних функцій невикористаного капіталу споживачів визначимо з виразу (4):

$$\pi_j = \frac{\sum_{s=1}^t c_{sj} \bar{y}_j \bar{p}_s + \sum_{s=t+1}^n c_{sj} \bar{y}_j p_s^0}{\bar{p}_j x_j^0 - \sum_{k=1}^t (a_{kj} x_j^0 + b_{kj}) \bar{p}_k - \sum_{k=t+1}^n (a_{kj} x_j^0 + b_{kj}) p_k^0}, \quad j = \overline{1, t},$$

$$\pi_j = \frac{\sum_{s=1}^t c_{sj} \bar{y}_j \bar{p}_s + \sum_{s=t+1}^n c_{sj} \bar{y}_j p_s^0}{p_j^0 \bar{x}_j - \sum_{k=1}^t (a_{kj} \bar{x}_j + b_{kj}) \bar{p}_k - \sum_{k=t+1}^n (a_{kj} \bar{x}_j + b_{kj}) p_k^0}, \quad j = \overline{t+1, n}.$$

Така стратегія оподаткування гарантуватиме реалізацію того стану рівноваги економічної системи, характеристиками якого є вектори $(x_1^0, \dots, x_t^0, \bar{x}_{t+1}, \dots, \bar{x}_n)$, $(\bar{p}_1, \dots, \bar{p}_t, p_{t+1}^0, \dots, p_n^0)$, $(\bar{y}_1, \dots, \bar{y}_l)$, а сам він відповідає заздалегідь встановленим критеріям.

ВИСНОВКИ

Проведене дослідження є важливим для розуміння напрямів реформування оподаткування суб'єктів економічної системи. Стратегія оподаткування є одним із основних інструментів керування поведінки економічної системи. Саме вибір стратегії оподаткування забезпечує реалізацію того чи іншого стану рівноваги економічної системи і, таким чином, істотно впливає на її динаміку. У результаті зміни оподаткування дія потенційно дестабілізуючих економічну систему чинників може бути суттєво обмежена. У цьому дослідженні до таких чинників можна віднести монополізм та виникнення невикористаного капіталу. За певних умов монополізм призводить до

дискримінації інших суб'єктів економічної системи, а наявність невикористаного капіталу — до виникнення інфляції. Запропонований тут підхід до зміни існуючої стратегії оподаткування передбачає, що відкоригована стратегія оподаткування, завдяки вибору додаткового параметра β , має бути близькою до початкової. Це є важливим, тому що істотні зміни рівнів оподаткування також можуть негативно впливати на функціонування суб'єктів економічної системи.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Гончар М.С.* Математичні основи інформаційної економіки. — Київ: Ін-т теор. фізики, 2007. — 464 с.
2. *Debreu G.* Existence of competitive equilibrium // Handbook of Mathematical Economics, ed. by K.J. Arrow and M.D. Intriligator. — Amsterdam: North-Holland Publishing Company, 1982. — 2. — P. 698–742.
3. *Махорт А.П.* Вплив насичуваності споживачів на умови досягнення рівноваги в економічній системі // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2008. — № 4. — С. 86–96.
4. *Махорт А.Ф.* Равновесие в экономической системе с разными типами стратегий поведения потребителей // Проблемы управления и информатики. — 2009. — № 1. — С. 107–117.
5. *Канторович Л.В., Акилов Г.П.* Функциональный анализ. — М.: Наука, 1977. — 442 с.

Надійшла 20.10.2009

УДК 574.4:633.2.033

ОЦІНКА СТІЙКОСТІ ЕКОСИСТЕМ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ РОЛЬОВИХ ТРОФІЧНИХ МЕРЕЖ

С.С. РУДЕНКО, О.Я. БУЖДИГАН

Наведено теоретичне обґрунтування та різні підходи до визначення стійкості екологічних систем. Запропоновано інноваційну технологію для визначення різних типів стійкості (резистентної та пружної) пасторальних екосистем за оціночними показниками рольових трофічних мереж. На основі комплексу розроблених показників трофічних мереж здійснено оцінку стану 31-ї пасторальної екосистеми Чернівецької області.

ВСТУП

Протягом останніх трьох років нашу увагу було приділено застосуванню та адаптації методів рольового мережевого аналізу для побудови трофічних мереж наземних екосистем [1–3]. Після успішної розробки всіх технологічних аспектів цього напрямку постало питання про можливість оцінки стійкості екосистем за показниками рольових трофічних мереж.

Учені пов'язують зі стійкістю екосистем різні показники трофічних мереж. Слід зауважити, що чимало неузгодженостей у літературі виникають щодо впливу показників трофічних мереж на стійкість екологічних систем через не врахування особливостей резистентної та пружної стійкостей. Резистентна стійкість (стабільність) — здатність системи залишатися у стійкому (рівноважному) стані у випадку дії зовнішніх факторів; пружна стійкість (власне стійкість) — здатність екосистеми швидко відновлюватись під час завершення зовнішнього впливу. Зауважимо, що пружна та резистентна стійкість взаємно виключають одна одну, точніше екосистемі важко розвивати обидва види стійкості одночасно. Саме крізь призму цих постулатів спробуємо чітко розмежувати показники рольових трофічних мереж, які забезпечують кожний із цих видів стійкості.

Мета роботи — добір та апробація оціночних показників рольових трофічних мереж пасторальних екосистем для визначення їх стійкості.

РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

За J.C. Johnson, S.P. Borgatti, J.J. Luczkovich та ін., якщо трофічна мережа розвивається в умовах стійкого оточення, то її ієрархічність ускладнюється,

зростає кількість трофічних класів та трофічних зв'язків [4]. Виходячи з цього положення, для оцінки стійкості пасторальних екосистем використовуємо такі показники трофічних мереж як: кількість трофічних класів — $K_{\text{кл}}$; кількість трофічних зв'язків — $K_{\text{зв}}$; показник ієрархічності трофічних мереж — P_i (кількість трофокласів/кількість трофоелементів $\times 100$). З міркувань згаданих вище авторів випливає, що за умов зростання стійкості екологічних систем повинні мати місце такі тенденції: $K_{\text{кл}} \uparrow K_{\text{зв}} \uparrow P_i \uparrow$.

Ю.Г. Пузаченко вважає, що єдиним інструментом, за допомогою якого система здатна протистояти збуренням — є різноманіття зв'язків, яке забезпечує життєздатність екосистеми [5]. Виходячи з визначальної ролі зв'язків у забезпеченні життєздатності екологічної системи, ми запропонували та апробували у межах зазначеного напрямку досліджень цілу низку показників, які характеризують трофічні зв'язки:

- питома кількість зв'язків — $PK_{\text{зв}}$,
- відсоток трофокласів виключно з вихідними зв'язками — $ZB_{\text{вих}}$,
- відсоток трофокласів виключно з вхідними зв'язками — $ZB_{\text{вхід}}$,
- відсоток трофокласів зі змішаними зв'язками — $ZB_{\text{зміш}}$.

За Ю. Одумом, функціональна складність (складність зв'язків) підвищує стійкість системи, оскільки збільшується потенційно можлива кількість петель зворотного зв'язку [6]. Виходячи з цього, введемо у наші дослідження індекс функціонального різноманіття трофічної мережі, тобто різноманіття зв'язків — $H_{\text{ф}}$.

R.E. Ulanowicz доводить, що в умовах стабільного оточення зменшується число надлишкових зв'язків у трофічній мережі [7]. Натомість Ю.Г. Пузаченко вважає, що стійкість екосистеми може забезпечуватися надлишковістю компонентів, а всі ланки трофічної піраміди, яка складається з хижака та його жертв, зберігаються завдяки дублюванню каналів зв'язків (зв'язки хижака зі своїми жертвами є такими каналами, які здатні за необхідністю замінити одне одного) [5]. Може здатися, що між думками R.E. Ulanowicz та Ю.Г. Пузаченко існує протиріччя. Проте воно зникає, якщо застосувати їхню методику до екосистем із резистентною та пружною стійкістю. Якщо екосистема знаходиться в стабільних умовах, то у неї формується резистентна стійкість (стабільність) і як наслідок — в її трофічній мережі зменшується число надлишкових зв'язків (ситуація, яку описує R.E. Ulanowicz). Якщо ж екосистема перебуває у змінних умовах, то одним із механізмів підтримання її стійкості є наявність надлишкових зв'язків, проте ця стійкість має вже іншу природу та відноситься до пружної стійкості (ситуація, яку описує Ю.Г. Пузаченко). Для оцінки надлишкових зв'язків був введений показник кількості надлишкових зв'язків ($K_{\text{нзв}}$), який пропонуємо оцінювати як різницю між кількістю зв'язків у трофічній мережі та кількістю трофокласів мінус одиниця. При цьому ми керуємося постулатом про те, що між двома трофокласами (кулями) — найменша кількість зв'язків — одиниця, тобто на один менше ніж куль. Якщо в екосистемі кожна куля має лише один зв'язок, то має справджуватися зазначений постулат.

Проте, на нашу думку, характеристика будь-якої екосистеми була б неповною, якщо б оцінка зв'язків проводилась без оцінки елементів, між яки-

ми існують ці зв'язки. Ось чому, крім H_{ϕ} , було використано такий оціночний показник як індекс структурного різноманіття трофічних мереж (H_c), який розраховуватимемо за розподілом трофоелементів у трофокласах. А паралельно з оцінкою показника $PK_{зв}$ проведемо визначення питомої кількості трофічних елементів ($PK_{тр.ел.}$).

На думку А.Д. Арманд, причиною вразливості угруповань є складність біотичних взаємовідносин [8, 9]. Він ставить під сумнів гіпотезу про те, що стабільність угруповань — це результат наявності в них великого числа екологічних ніш та взаємно адаптованих видів. Також, на думку автора, уявлення про те, що складність веде до стабільності, досить зручне для екологічного моделювання, однак невірне. За А.Д. Арманд, складність взаємовідносин є причиною уразливості угруповання. Як яскравий приклад такого прояву він наводить ефект антропогенного впливу на зрілі, складні за структурою угруповання, наприклад, дощові тропічні ліси чи коралові рифи. Складні угруповання виявляються більш вразливими в умовах, коли їх середовище різко змінюється [8]. Водночас В.М. Кавецький та ін., посилаючись на дані багатьох авторів, звертають увагу на відсутність прямих і постійних зв'язків між складністю та стійкістю [10].

Не зважаючи на протиріччя під час оцінки зв'язку між складністю угруповань та стійкістю, для аналізу було застосовано такий показник як індекс структурно-функціональної складності трофічної мережі — $H_{сф}$. При його розробці ми виходили з визначення поняття складності біоценозу, запропонованого І.І. Дедю: складність біоценозу — це показник структурності біоценозу, що визначається числом його компонентів та зв'язками між ними [11, 12]. У диверсикології широкою популярністю користується індекс складності угруповань І.Г. Емельянова, який інтегрує видове та таксономічне різноманіття [13–15]. За аналогією ми розраховували $H_{сф}$ як корінь квадратний з добутку структурного та функціонального різноманіття: $(H_{\phi} \times H_c)^{1/2}$. Отже, за А.Д. Армад, під час стабілізації умов слід очікувати, що напрямок зміни цього показника набуває вигляду $H_{сф} \uparrow$, а за змінних умов — $H_{сф} \downarrow$ [8]. Спираючись на дослідження інших авторів можна зробити висновок, що між цими показниками взагалі немає зв'язку.

Деякі автори звертають увагу на такий показник екосистем як зв'язаність між елементами системи. Є дані, що в мінливих умовах зв'язаність (ступінь впливу змін одного елементу на другий) між видами нижча ніж у постійних [16, 17]. Ю.Г. Пузаченко також доводить, що у випадку пасторальної екосистеми витоштування та випас зумовлюють послаблення міжвидових зв'язків [5]. Керуючись цією інформацією, ми використовуємо для визначення характеру стійкості екосистем показник відносної зв'язаності ($П_{вз}$) трофічної мережі М. Гарднера та В. Ешбі [19]. Виходячи з викладених вище міркувань, можна передбачити такі напрями зміни зазначеного показника: за умов резистентної стійкості — $П_{вз} \uparrow$, а за умов пружної — $П_{вз} \downarrow$.

Отож запропоновано 13 показників трофічних мереж для оцінки стійкості пасторальних екосистем (табл. 1).

Результати оцінки формалізованих трофічних мереж 31-ї дослідженої нами пасторальної екосистеми в межах Чернівецької області за даними показниками наведені в табл. 2.

Таблиця 1. Показники трофічних мереж для оцінки стійкості пасторальних екосистем

№	Символічне позначення	Повна назва показника та його розрахунок
1	$K_{зв}$	Кількість зв'язків у трофічній мережі — це загальна кількість усіх зв'язків між трофічними класами в трофічній мережі
2	$PK_{зв}$	Питома кількість зв'язків (кількість зв'язків/кількість трофокласів) ($K_{зв}/K_{кл}$)
3	$K_{нзв}$	Кількість надлишкових зв'язків (кількість зв'язків — (кількість трофокласів — 1))
4	$PK_{тр.ел.}$	Питома кількість трофічних елементів (кількість трофоелементів/кількість трофокласів)
5	$K_{кл}$	Кількість трофокласів у трофічній мережі (Eta в програмі UCINET 6.164 [18], що використовується для побудови рольових трофічних мереж методами рольового мережевого аналізу)
6	P_i	Показник ієрархічності трофічних мереж (кількість трофокласів*100 % / кількість трофоелементів)
7	$ЗВ_{вих}$	Відсоток трофокласів виключно з вихідними зв'язками (кількість зв'язків, які є виключно вихідними в трофічній мережі *100 % / $K_{кл}$)
8	$ЗВ_{вх}$	Відсоток трофокласів виключно з вхідними зв'язками (кількість зв'язків, які є виключно вхідними в трофічній мережі *100 % / $K_{кл}$)
9	$ЗВ_{зміш}$	Відсоток трофокласів зі змішаними зв'язками ($(K_{кл} - \text{кількість класів виключно із вхідними зв'язками} - \text{кількість класів виключно із вихідними}) * 100 \% / K_{кл}$)
10	H_c	Індекс структурного різноманіття трофічної мережі — різноманіття трофоелементів щодо трофокласів (визначається за формулою Шеннона: $H = -\sum_1^S P_i \log_2 P_i$ або $H = -\sum_1^i \frac{n_i}{N_i} \log_2 \frac{n_i}{N_i}$, де n_i — кількість трофоелементів i -го трофокласу; N — загальна кількість усіх трофоелементів)
11	H_ϕ	Індекс функціонального різноманіття трофічної мережі визначається за формулою Шеннона: $H = -\sum_1^S P_i \log_2 P_i$ або $H = -\sum_1^i \frac{n_i}{N_i} \log_2 \frac{n_i}{N_i}$, де n_i — кількість зв'язків i -го трофокласу з іншими трофокласами, як у ролі хижака, так і в ролі жертви; N — загальна кількість усіх зв'язків у трофічній сітці)
12	$H_{сф}$	Індекс структурно-функціональної складності трофічної мережі: $(H_\phi \times H_c)^{1/2}$
№	Символічне позначення	Повна назва показника та його розрахунок
13	$P_{вз}$	Показник відносної зв'язаності трофічної мережі

	$S(C) = \frac{s(\tilde{N})}{n(n-1)} * 100\% , \text{ де } s(\tilde{N}) \text{ — число відмінних від нуля}$ недіагональних елементів структурної матриці C ; n — загальна кількість недіагональних елементів [19]
--	--

Таблиця 2. Оціночні показники трофічних мереж пасторальних екосистем Чернівецької області

Місце знаходження пасторальної екосистеми (назва села)	Показники трофічної мережі												
	$K_{кл}$	P_i	$K_{зв}$	H_c	$H_{ф}$	$H_{сф}$	$ЗВ_{вих}$	$ЗВ_{вх}$	$ЗВ_{зміш}$	$P_{вз}$	$ПК_{зв}$	$K_{пзв}$	$ПК_{тр.ел.}$
Вікно	25	28	66	2,64	4,64	3,50	24	8	68	11,0	2,64	42	3,6
Кострижівка	17	40	31	2,49	3,9	3,12	24	12	65	11,4	1,82	15	2,53
Лужани	14	20	23	1,77	3,57	2,51	29	14	57	12,6	1,64	10	5
Поляна	14	18	22	1,76	3,57	2,51	29	14	57	12,1	1,57	9	5,71
Чорнівка	12	17	22	1,44	3,31	2,18	17	17	67	16,7	1,83	11	5,83
Зелена	24	36	55	2,58	4,6	3,44	17	17	67	10,0	2,29	32	2,79
Вовчинець	21	32	45	2,21	4,11	3,01	19	19	62	10,7	2,14	47	2,48
Ставчани	27	40	73	2,77	4,72	3,62	19	11	70	10,4	2,70	25	3,14
Грушівці	1	1	0	4,43	0	0	0	0	0	0	0	0	84
Михалкове	28	40	72	2,72	4,77	3,60	21	11	68	9,5	2,57	45	2,5
Магала	1	1	0	4,25	0	0	0	0	0	0	0	0	70
Зарожани	19	30	36	2,39	4,19	3,16	26	5	68	10,5	1,89	18	3,32
Тернавка	1	1	0	4,34	0	0	0	0	0	0	0	0	77
Горбово	16	12	36	1,26	3,76	2,18	19	13	69	15,0	2,25	21	8,56
Валя Кузьміна	1	1	0	4,68	0	0	0	0	0	0	0	0	108
Михальча	28	33	73	2,55	4,77	3,49	18	11	71	9,7	2,61	46	3,07
Червона-Діброва	16	15	30	1,96	3,61	2,66	31	6	63	12,5	1,88	15	6,5
Дубово	26	35	60	2,52	4,63	3,42	15	15	69	9,2	2,31	35	2,85
Костинці	18	18	35	1,89	3,98	2,74	22	11	67	11,4	1,94	18	5,5
Брусниця	14	16	30	1,63	3,71	2,46	21	14	64	16,5	2,14	17	6,36
Черешенька	29	36	69	2,71	4,87	3,63	14	10	76	8,5	2,38	41	2,79
Банилів Підгірний	17	22	36	1,88	3,86	2,69	24	0	76	13,2	2,12	20	4,47
Красноільськ	17	26	32	1,93	3,98	2,77	24	18	59	11,8	1,88	16	3,88
Старий Вовчинець	22	24	48	2,24	4,4	3,14	23	14	64	10,4	2,18	27	4,23
Стебник	1	2	0	3,91	0	0	0	0	0	0	0	0	50
Лопушна	19	18	39	2,21	4,11	3,01	21	5	74	11,4	2,05	21	5,47
Долішній Шепіт	14	12	27	0,87	3,52	1,75	14	14	71	14,8	1,93	14	8,07
Усть-Путила	17	20	31	1,65	3,93	2,55	18	18	65	11,4	1,82	15	4,94
Селятин	25	24	57	2,29	4,63	3,26	24	12	64	9,5	2,28	33	4,2
Шепіт	14	18	23	1,97	3,57	2,65	29	14	57	12,6	1,64	10	5,5
Перкалаб	12	13	22	0,99	3,26	1,80	25	25	50	16,7	1,83	11	8

Одержана база даних застосовується для пошуку кореляційних зв'язків між показниками трофічних мереж з обов'язковим визначенням їх достовірності (табл. 3). При одержанні матриці кореляційних зв'язків між оціночними показниками трофічних мереж виникло питання про те, чому достовірний кореляційний зв'язок (позначено *) між показниками $H_{сф}$ та H_c

виявився зворотнім, не зважаючи на те, що показник $H_{сф}$ інтегрує значення H_c та $H_{ф}$. Ми дійшли висновку, що під час визначення показника структурно-функціонального різноманіття трофічних мереж пасторальних екосистем Чернівецької області інтегрований у ньому показник $H_{ф}$ порівняно з H_c найбільше впливає на отримані значення. Як видно з кореляційної матриці показники H_c та $H_{ф}$ було виявлено між собою достовірний зворотний зв'язок ($-0,7$).

Таблиця 3. Коефіцієнти кореляції між оціночними показниками трофічних мереж пасторальних екосистем у межах Чернівецької області

Показники	P_1	$K_{зв}$	H_c	$H_{ф}$	$H_{сф}$	$ЗВ_{вих}$	$ЗВ_{вх}$	$ЗВ_{зміш}$	$P_{вз}$	$ПК_{зв}$	$K_{нзв}$	$ПК_{тр.ел.}$
$K_{кл}$	0,9*	0,98*	-0,5*	0,94*	0,96*	0,58*	0,46*	0,80*	0,52*	0,94*	0,94*	-0,81*
P_1		0,87*	-0,32	0,85*	0,91*	0,58*	0,45*	0,67*	0,42*	0,81*	0,84*	-0,73*
$K_{зв}$			-0,32	0,86*	0,89*	0,47*	0,37*	0,70*	0,40*	0,89*	0,99*	-0,7*
H_c				-0,7*	-0,6*	-0,60*	-0,7*	-0,80*	-0,9*	-0,70*	-0,2	0,83*
$H_{ф}$					0,98*	0,72*	0,60*	0,91*	0,76*	0,98*	0,8*	-0,93*
$H_{сф}$						0,72*	0,51*	0,87*	0,66*	0,95*	0,83*	-0,89*
$ЗВ_{вих}$							0,60*	0,53*	0,66*	0,66*	0,4*	-0,73*
$ЗВ_{вх}$								0,46*	0,69*	0,58*	0,31	-0,64*
$ЗВ_{зміш}$									0,84*	0,91*	0,63*	-0,9*
$P_{вз}$										0,77*	0,33	-0,85*
$ПК_{зв}$											0,84*	-0,91*
$K_{нзв}$												-0,62*

Під час цих досліджень було виявлено цікаву закономірність: показники $ПК_{тр.ел.}$ та H_c виявили зворотну залежність від усіх інших показників трофічних мереж досліджених пасторальних екосистем.

Оскільки факт зростання значення показників $K_{кл}$, $K_{зв}$, P_1 за умов підвищення стійкості екологічних систем є беззаперечним [4], то всі показники, які виявляли високий рівень прямої кореляції за даними показниками також поповнюють когорту показників, спрямованих на стійкість екосистеми. При цьому характер стійкості екосистем визначали за співвідношенням показників $P_{вз}$ та $K_{нзв}$. Як видно з кореляційної матриці (табл. 3), лише показники $ПК_{тр.ел.}$ та H_c виявляють зворотній зв'язок із показниками беззаперечно спрямованими та стійкість. Отже, два останніх показника віднесено до таких, які засвідчують нестійкість екосистем.

У табл. 4 подано усереднені рейтинги для пасторальних екосистем Чернівецької області за показниками $K_{кл}$, P_1 , $K_{зв}$, $H_{ф}$, $H_{сф}$, $ЗВ_{вих}$, $ЗВ_{вх}$, $ЗВ_{зміш}$, $ПК_{зв}$, які визначають стійкість екосистем та за показниками $ПК_{тр.ел.}$ і H_c , які засвідчують нестабільність екосистем, а також окремі рейтинги за показни-

ками, які розкривають характер стійкості екосистем (резистентна чи пружна стійкість) — $P_{вз}$ та $K_{нзв}$. Рейтинг показника визначають за формулою $x - \min/\max - \min$, де x — значення показника для трофічної мережі досліджуваної екосистеми, \min — мінімальне значення показника, \max — максимальне значення показника.

Таблиця 4. Оцінка рівня та характеру стійкості пасторальних екосистем Чернівецької області за рейтингом досліджених показників трофічних мереж

Місце розміщення пасторальної екосистеми (назва села)	Усереднене значення рейтингів ($K_{кл}$, P_i , $K_{зв}$, $H_{ф}$, $H_{сф}$, $ЗВ_{вих}$, $ЗВ_{вх}$, $ЗВ_{змш}$, $ПК_{зв}$)	Рейтинг за $P_{вз}$	Рейтинг за $K_{нзв}$	Рейтинг за $ПК_{тр.ел.}$ та H_c	Рівень і характер стійкості екосистеми
Грушівці	0	0	0	0,84	Нестійка
Магала	0	0	0	0,77	
Тернавка	0	0	0	0,8	
Валя Кузьміна	0	0	0	1	
Стебник	0	0	0	0,63	
Долішній Шепіт	0,57	0,9	0,3	0,03	Резистентно-стійка (стабільна)
Чорнівка	0,58	1	0,23	0,07	
Червона Діброва	0,6	0,7	0,32	0,17	
Перкалаб	0,6	1	0,23	0,03	
Поляна	0,61	0,7	0,19	0,12	
Горбово	0,61	0,9	0,45	0,08	
Шепіт	0,61	0,8	0,21	0,16	
Лужани	0,62	0,8	0,21	0,11	
Брусниця	0,63	1	0,36	0,12	
Банилів-Підгірний	0,63	0,8	0,43	0,16	
Костинці	0,64	0,7	0,38	0,16	
Лопушна	0,64	0,7	0,45	0,21	
Усть-Путила	0,66	0,7	0,32	0,11	
Зарожани	0,69	0,61	0,38	0,2	
Красноільск	0,69	0,7	0,34	0,16	
Кострижівка	0,73	0,7	0,32	0,2	
Вовчинець	0,74	0,6	1	0,2	Пружно-стійка
Вікно	0,83	0,7	0,89	0,26	
Черешенька	0,84	0,5	0,87	0,25	
Михальча	0,86	0,6	0,98	0,2	
Михалкове	0,89	0,6	0,96	0,25	
Старий Вовчинець	0,76	0,6	0,57	0,21	Стійка без визначеного характеру стійкості
Селятин	0,79	0,6	0,70	0,21	
Зелена	0,8	0,6	0,68	0,2	
Дубово	0,82	0,6	0,74	0,2	
Ставчани	0,87	0,6	0,53	0,25	

Рівень рейтингів оціночних показників трофічних мереж досліджуваних пасторальних екосистем оцінювався за шкалою рейтингової оцінки А.І. Горової (табл. 5).

Якщо усереднений рейтинг за показниками, які позитивно впливають на стійкість екосистем ($K_{кл}$, P_i , $K_{зв}$, H_f , $H_{сф}$, $ЗВ_{вих}$, $ЗВ_{вх}$, $ЗВ_{зміш}$, $ПК_{зв}$) — вищий за середній, високий або максимальний, а за показниками, які засвідчують нестабільність екосистеми ($ПК_{тр.ел.}$ та H_c) — низький, або нижчий за середній, то вважають, що ця пасторальна екосистема є стійкою.

Таблиця 5. Рівні рейтингової оцінки за шкалою А.І. Горової [20]

№	Показник рейтингу	Рівень рейтингу
1	0 – 0,15	Низький
2	0,16 – 0,3	Нижче середнього
3	0,31 – 0,45	Середній
4	0,46 – 0,6	Вище середнього
5	0,61 – 0,75	Високий
6	0,76 – 1	Максимальний

Для визначення характеру стійкості таких пасторальних екосистем звертали увагу на співвідношення рейтингів таких показників як $P_{вз}$ та $K_{нзв}$. При суттєвому переважанні рейтингу за $P_{вз}$ над рейтингом за $K_{нзв}$ стійкість оцінювали як резистентну, тобто стабільну. При суттєвому переважанні рейтингу за $K_{нзв}$ над рейтингом за $P_{вз}$ — пружною. За відсутності суттєвої різниці між рейтингами за цими двома показниками, стійкість екосистеми оцінювали як таку, що немає визначеного характеру стійкості. Нестійкими вважали пасторальні екосистеми, для яких було встановлено високі або максимальні значення усередненого рейтингу за показниками $ПК_{тр.ел.}$ та H_c .

За урахування викладених вище міркувань було проаналізовано 31-у досліджену пасторальну екосистему (табл. 4). За результатами досліджень в межах Чернівецької області виявлено 4 нестійких пасторальних екосистеми (у межах с. Грушівці, с. Магала, с. Тернавка, с. Валя Кузьміна, с. Стебник), трофічні мережі яких мають низький рейтинг за показниками, що забезпечують стійкість екосистем та високий рейтинг, або максимальний рейтинг за показниками H_c та $ПК_{тр.ел.}$, що віддзеркалюють нестійкість екосистем. П'ятьом пасторальним екосистемам притаманна пружна стійкість (у межах с. Вовчинець, с. Вікно, с. Черешенька, с. Михальча, с. Михалкове). Трофічні мережі цих пасторальних екосистем мають високі та максимальні значення усередненого рейтингу за показниками, спрямованими на підтримання стійкості екосистем, та характеризуються значним переваженням рейтингу за $K_{нзв}$ над рейтингом за $P_{вз}$. Шістнадцять пасторальних екосистем Чернівецької області (у межах с. Долішній Шепіт, с. Чорнівка, с. Червона Діброва, с. Перкалаб, с. Поляна, с. Горбово, с. Шепіт, с. Лужани, с. Брусниця, с. Банилів-Підгірний, с. Костинці, с. Лопушна, с. Усть-Путила, с. Зарожани, с. Красноільск, с. Кострижівка) було віднесено до стабільних (резистентно стійких), оскільки для трофічних мереж даних пасторальних екосистем встановлено суттєве переважання рейтингу за $P_{вз}$ над рейтингом за $K_{нзв}$ на

ті вищого за середній, високого або максимального значення усередненого рейтингу за показниками, які позитивно впливають на стійкість екосистем.

П'ять із тридцяти однієї дослідженої нами пасторальної екосистеми Чернівецької області є стійкими без визначеного характеру стійкості (у межах с. Старий Вовчинець, с. Селятин, с. Зелена, с. Дубово, с. Ставчани). Трофічні мережі цих екосистем мають високі або максимальні значення усередненого рейтингу за показниками, спрямованими на стійкість, та приблизно однаковий рейтинг за показниками $P_{вз}$ та $K_{нзв}$.

ВИСНОВКИ

1. Розроблено технологію оцінки стійкості пасторальних екосистем за оціночними показниками рольових трофічних мереж. При цьому до стійких пропонується віднести екологічні системи, які мають вищий за середній, високий або максимальний усереднений рейтинг за комплексом показників, що засвідчують стійкість ($K_{кл}$, P_i , $K_{зв}$, $H_{ф}$, $H_{сф}$, $ЗV_{вих}$, $ЗV_{вх}$, $ЗV_{зміш}$, $PK_{зв}$) та низький або нижчий за середній усереднений рейтинг за комплексом показників, які віддзеркалюють нестійкість ($PK_{тр.ел.}$ та H_c). Обґрунтовано віднесення до екосистем нестійкого типу пасовищ, для яких встановлено високі або максимальні значення показників $PK_{тр.ел.}$ та H_c .

2. Характер стійкості пасторальних екосистем пропонується визначати за співвідношенням рейтингів таких показників, як $P_{вз}$ та $K_{нзв}$. При суттєвому переважанні рейтингу за $P_{вз}$ над рейтингом за $K_{нзв}$ стійкість оцінюється як резистентна (стабільна). При суттєвому переважанні рейтингу за $K_{нзв}$ над рейтингом за $P_{вз}$ стійкість оцінюється як пружна. За відсутності суттєвої різниці між рейтингами за цими двома показниками стійкість екосистеми оцінюється як така, що не має визначеного характеру.

3. На основі розроблених оціночних показників трофічних мереж серед 31-ї дослідженої пасторальної екосистеми Чернівецької області виявлено 5 нестійких пасторальних екосистем, 5 — з пружною стійкістю, 16 — стабільних пасторальних екосистем (з резистентною стійкістю) та 5 — стійких пасторальних екосистем без визначеного характеру стійкості.

ЛІТЕРАТУРА

1. Руденко С.С. Застосування рольового мережевого аналізу для побудови та оцінки трофічних мереж пасторальних екосистем // Вісн. проблем біології та медицини. — 2008. — Вип. 1. — С. 78–87.
2. Руденко С.С. Застосування мережевого рольового аналізу для побудови та оцінки трофічних мереж пасторальних екосистем // Доп. Нац. академії наук України. — 2008. — № 11. — С. 192–196.
3. Руденко С.С. Біомоніторинг пасторальних екосистем крізь призму дослідження трофічних мереж // Наук. вісн. Чернівецького нац. ун-ту: зб. наук. праць. — Сер. Біологія. — 2008. — Вип. 416. — С. 203–207.
4. Johnson J.C. Network Role Analysis in the Study of Food Webs. An Application of Regular Role Coloration // Journal of Social Structure. — 2001. — № 3. — <http://www.cmu.edu/joss/content/articles/volume2/JohnsonBorgatti.html>.

5. Пузаченко Ю.Г. Экосистемы в критических состояниях. — М.: Наука, 1989. — 155 с.
6. Одум Ю. Экология. — М.: Мир, 1986. — Т. 1. — 328 с.
7. Ulanowicz R.E. Ecology: The Ascendant Perspective. — NY: Columbia University Press, 1997. — 201 p.
8. Арманд А.Д. Механизмы устойчивости геосистем. — М.: Наука, 1992. — 208 с.
9. Арманд А.Д. «Сильные» и «слабые» системы в географии и экологии // Устойчивость геосистем. — М.: Наука, 1983. — С. 50–61.
10. Кавецький В.М. Стратегія стійкого розвитку чи концепція внутрішньої динамічної рівноваги // Современные проблемы токсикологии. — 2004. — № 4. — С. 24–28.
11. Ямборко Н.А. Стійкість мікробних угруповань ґрунту до генотоксичного впливу деяких пестицидів: автореф. дис. ... доктора біол. наук / Ін-т мікробіології і вірусології ім. Д.К. Заболотного НАН України. — 2005. — 22 с.
12. Гиляров А.М. Мнимые и действительные проблемы биоразнообразия // Успехи современной биологии. — 1996. — Т. 116. — № 4. — С. 493–506.
13. Емельянов И.Г. Разнообразие и его роль в функциональной устойчивости и эволюции экосистем. — Киев: МСУ, 1999. — 168 с.
14. Руденко С.С. Порівняльно-екологічне дослідження рослинності двох екстремальних біотопів Українських (Марамурешських) Карпат / С.С. Руденко, В.І. Чотик, С.С. Костишин, М.М. Марченко // Доп. НАН України. — 2002. — № 7. — С. 198–205.
15. Загороднюк И.В. Оценка таксономического разнообразия фаунистических комплексов / И.В. Загороднюк, И.Г. Емельянов, В.Н. Хоменко // Доп. НАН України. — 1995. — № 7. — С. 145–148.
16. Бигон М., Харпер Дж., Таунсенд К. Экология: особи, популяции, сообщества / Пер. с англ. В.В. Белова, А.Г. Пельмского, под ред. А.М. Гилярова. — М.: Мир, 1989. — Том 2. — 480 с.
17. Коган А.Б., Наумов Н.П., Режабек Б.Г. и др. Биологическая кибернетика. — М.: Высш. шк., 1977. — 408 с.
18. Borgatti S.P., Everet M.G., Freeman L.C. The program Ucinet 6 for Windows runs on Windows 95/98/NT/2000/XP platforms with a minimum of 8mb of RAM: Software for Social Network Analysis. — Harvard: Analytic Technologies, 2002. — <http://www.analytictech.com/>.
19. Экологический энциклопедический словарь / Сост.: И.И. Дедю. — Кишинев: Молд. Сов. Энцикл., 1989. — 408 с.
20. Про затвердження методичних рекомендацій «Обстеження та районування території за ступенем впливу антропогенних чинників на стан об'єктів довкілля з використанням цитогенетичних методів»: наказ [прийнято Міністерством охорони здоров'я України 13 бер. 2007 р.] // ВВР. — 2007. — № 116. — 36 с.

Надійшла 26.03.2009

ОПТИМІЗАЦІЙНІ ЕКОНОМІЧНІ ЗАДАЧІ В СИСТЕМАХ
ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

Є.Г. ЛЕВЧЕНКО, Р.Б. ПРУС

Розроблено математичну модель і методику визначення оптимального розподілу ресурсів між об'єктами захисту інформації. Сформульовано цільову функцію, на основі якої проведено ілюстративні розрахунки в системі з двох інформаційних об'єктів. Окреслено напрямки розвитку запропонованої методики.

ВСТУП

Математичне моделювання економічних задач часто призводить до необхідності оптимізації функції, яка містить певні показники. У задачах інформаційної безпеки ця функція частіше за все характеризує втрати інформації, які необхідно мінімізувати при деяких обмеженнях, що накладаються на параметри розрахунку (наприклад, витрати на захист інформації). І функція, і обмеження можуть мати як лінійний, так і нелінійний характер, обмеження накладаються у вигляді рівнянь або нерівностей [1, 2].

Розглянемо одну з актуальних задач менеджменту інформаційної безпеки — оптимізацію розподілу ресурсів між об'єктами захисту інформації [3, 7]. Цільова функція цієї задачі, яка визначає втрати інформації, у загальних рисах має такий вигляд:

$$i(x, y) = \sum_{k=1}^l i_k = \sum_{k=1}^l g_k p_k q_k(x) f_k(x, y), \quad (1)$$

де x та y — ресурси нападу і, відповідно, захисту; g — об'єм інформації на об'єкті; p — імовірність нападу на певний об'єкт; $q(x)$ — імовірність виділення нападом ресурсів x для вилучення інформації з об'єкта; $f(x, y)$ — залежність частки вилученої інформації від ресурсів x та y .

Обмеження накладаються на x та y : $\sum_k x_k = X$, $\sum_k y_k = Y$, $k = \overline{1, l}$ — номер об'єкта.

Оптимізація функції $f(x, y)$ ведеться по одній із змінних — x або y друга змінна при цьому вважається константою. Цю задачу можна

розв'язати аналітично — методом Якобі або методом множників Лагранжа, а у випадку двох змінних ($k = \overline{1,2}$, $\{x\} = x_1, x_2$) і графічно [1].

Основні труднощі, які виникають під час розв'язання поставленої задачі, полягають у побудові математичної моделі. Цю проблему при обраному виді цільової функції можна поділити на дві частини: вибір залежності $f_k(x, y)$, $q_k(x)$ і визначення параметрів розрахунку g_k, p_k для кожного об'єкта.

Під час вибору залежності $f(x, y)$ слід врахувати, що вона має задовольняти двом умовам: при $x \rightarrow 0$ $f(x, y) \rightarrow 0$, при $x/y \gg 1$ $f(x)$ асимптотично прямує до 1. Цим умовам відповідають функції виду $f(x) = \frac{ax^{2n}}{bx^{2n} + c}$ і $f(x) = 1 - de^{-mx}$. У цих виразах і в подальшому вважатимемо, що $y = 1$. Константи a, b, c, d, n, m , які визначають положення та нахил кривих, можуть бути встановлені шляхом «прив'язки» до характерних точок. За нестачі статистичної інформації прив'язку можна здійснити шляхом логічних міркувань на основі експертної оцінки. Вважатимемо, що при $x = 1$ $f(x) \approx 0,5$. Тоді найбільш придатними будуть функції, зображені на рис. 1

(крива 1 — $f = \frac{x}{1+x}$, крива 2 — $f = \frac{x^2}{1+x^2}$, крива 3 — $f = 1 - e^{-x^2}$).

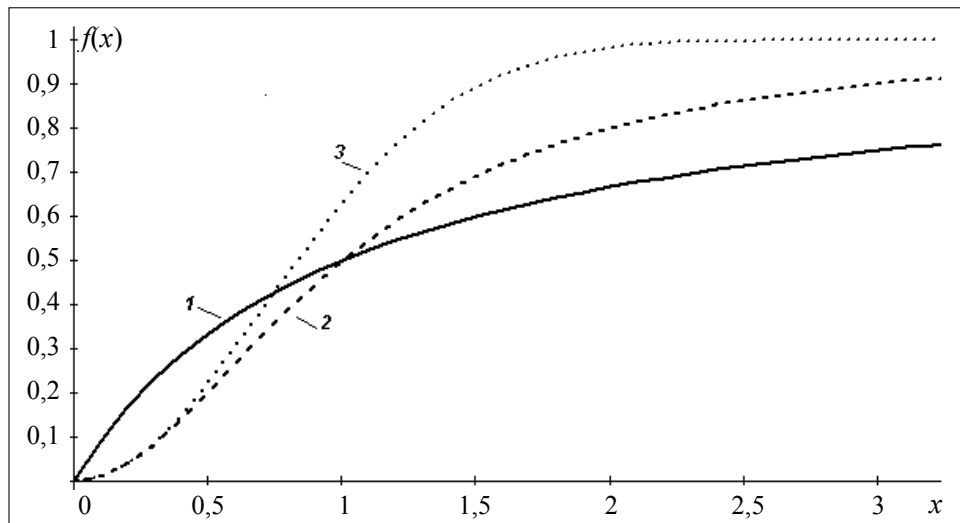


Рис. 1. Залежності кількості вилученої інформації від ресурсів нападу

Аналіз протистояння сторін почнемо з системи, яка складається з двох інформаційних об'єктів. Залежність $f(x)$ оберемо у вигляді $f(x) = \frac{x}{1+x}$. Тоді цільова функція матиме вигляд:

$$i(x_1, x_2) = g_1 \frac{x_1}{1+x_1} + g_2 \frac{x_2}{1+x_2}. \quad (2)$$

У цьому виразі для спрощення аналізу прийнято, що $p = 1$, $q = \text{const}$, тобто вважаємо, що ймовірності нападу однакові для об'єктів $k = \overline{1,2}$ та ін-

тервалу $X \in [0,3]$, в якому проводиться дослідження. Величини g_k нормовані: $g_1 + g_2 = 1$.

Оптимальне значення цільової функції $i(x_1, x_2) \rightarrow \max$ (для функції $i(y)$ оптимумом, очевидно, буде $i(y_1, y_2) \rightarrow \min$) досягається в точці дотику лінії рівня $i(x_1, x_2) = C = \text{const}$, яка визначає кількість інформації, вилученої з обох об'єктів при різних варіантах розподілу ресурсів нападу між об'єктами, і обмежувальної прямої $H(x) = x_1 + x_2 = X$, яка визначається загальною величиною ресурсів нападу.

Залежність $i(x_1, x_2)$ зображено на рис. 2 (крива 1 — на першому об'єкті, крива 2 — на другому об'єкті). Фізичний зміст ця фігура має в площині $x_1 0x_2$ (на рисунку зображена суцільною лінією).

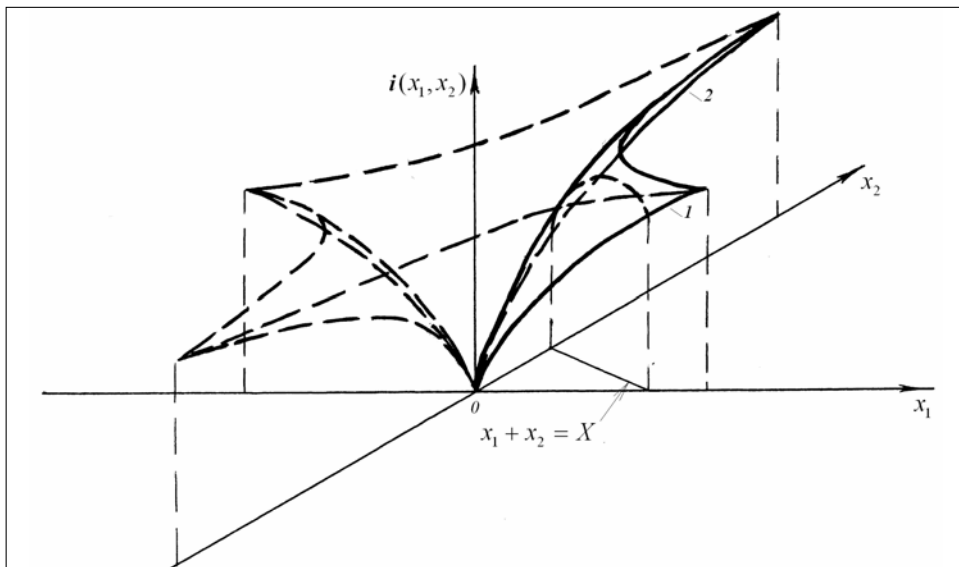


Рис. 2. Залежність кількості вилученої інформації від розподілу ресурсів нападу між об'єктами

Нахил кривих 1 і 2 на рис. 2 залежить не лише від значень x_1 та x_2 , а й від обсягів інформації g_1 та g_2 , оскільки кількість вилученої інформації з об'єкта, на якому обсяг інформації менший, зростатиме повільніше по відношенню до вкладених ресурсів нападу (рис. 3).

Лінії рівня $i(x_1, x_2) = g_1 \frac{x_1}{1+x_1} + g_2 \frac{x_2}{1+x_2} = C$ отримуємо в результаті перерізу просторової фігури, зображеної на рис. 2 площинами, паралельними площині $x_1 0x_2$.

Досягти дотику кривої $i(x_1, x_2) = C$ і прямої $H(x)$ можна двома шляхами. Якщо в умові задано кількість ресурсів X , тобто положення прямої $H(x)$, то необхідно рухати лінію рівня $i(x_1, x_2) = C$ у напрямку прямої $H(x)$ до досягнення дотику. Точка дотику буде визначати максимальну кількість інформації, яка може бути вилучена при заданому значенні X . Якщо ж ставиться задача визначення необхідної кількості ресурсів для вилучення певної кількості інформації (вона задається кривою $i(x_1, x_2) = C$), то

лінія рівня залишається нерухомою, а пряму $H(x)$ слід рухати в напрямку кривої $i(x_1, x_2) = C$, і при дотику визначити величину необхідних ресурсів X .

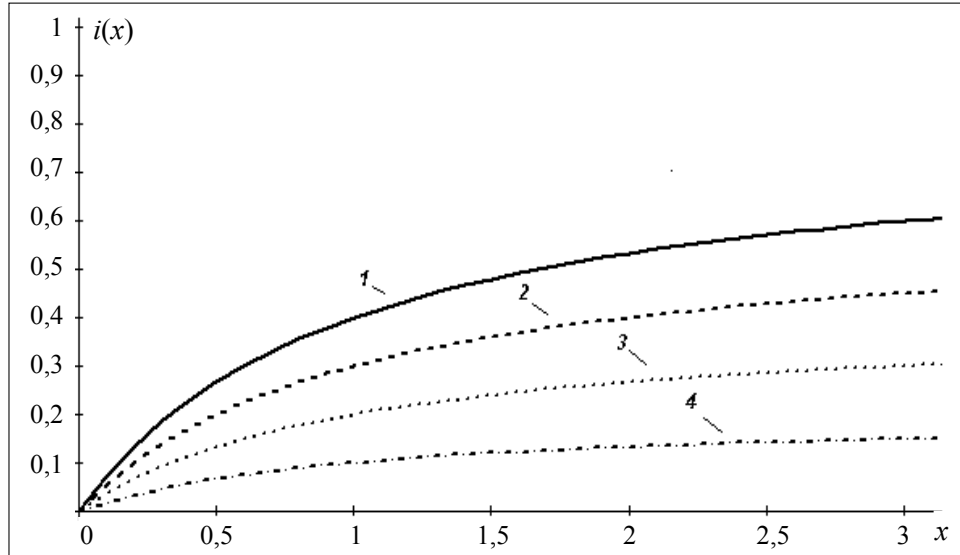


Рис. 3. Залежність кількості вилученої інформації від ресурсів нападу при різних значеннях g : крива 1 — $g = 0,8$; крива 2 — $g = 0,6$; крива 3 — $g = 0,4$; крива 4 — $g = 0,2$

На рис. 4 зображено оптимальні розв'язки при обмеженні $X = x_1 + x_2 = 1$ залежно від обсягу інформації g_1 та g_2 на об'єктах. Цифрами позначено: крива 1 — $H(x) = x_1 + x_2 = 1$; крива 2 — $\frac{g_1}{g_2} = \frac{0,5}{0,5} = 1$, $i(x_1, x_2) = 0,33$; крива 3 — $\frac{g_1}{g_2} = \frac{0,6}{0,4} = 1,5$, $i(x_1, x_2) = 0,34$; крива 4 — $\frac{g_1}{g_2} = \frac{0,7}{0,3} = 2,33$, $i(x_1, x_2) = 0,362$; крива 5 — $\frac{g_1}{g_2} = \frac{0,8}{0,2} = 4$, $i(x_1, x_2) = 0,4$.

Із рис. 4 видно, що оптимальне значення $i(x_1, x_2)$ для $\frac{g_1}{g_2} = \frac{0,8}{0,2}$ досягається при $x_1^0 = 1$ та $x_2^0 = 0$, і як видно з (2), становить 0,4.

Перейдемо до аналітичних методів розв'язку поставленої задачі. Перший з них — метод Якобі у випадку двох змінних дозволяє, використовуючи обмежувальне рівняння $x_1 + x_2 = X$, звести задачу на умовний екстремум функції двох змінних до задачі на безумовний екстремум функції однієї змінної:

$$i(x_1) = g_1 \frac{x_1/y_1}{1 + x_1/y_1} + g_2 \frac{(X - x_1)/y_2}{1 + (X - x_1)/y_2}.$$

Умовою оптимальності є $\frac{di(x_1)}{dx_1} = 0$. Проте пошук значення x_1^0 при-

зводить до необхідності розв'язку алгебраїчного рівняння високого ступеня. Таким чином, навіть у випадку двох об'єктів цей метод призводить до

досить громіздкої обчислювальної процедури. Звертаючись до другого з аналітичних методів, методу множників Лагранжа, будуємо функцію:

$$L(x_1, x_2, \lambda) = g_1 \frac{x_1/y_1}{1 + x_1/y_1} + g_2 \frac{x_2/y_2}{1 + x_2/y_2} + \lambda(x_1 + x_2 - X). \quad (3)$$

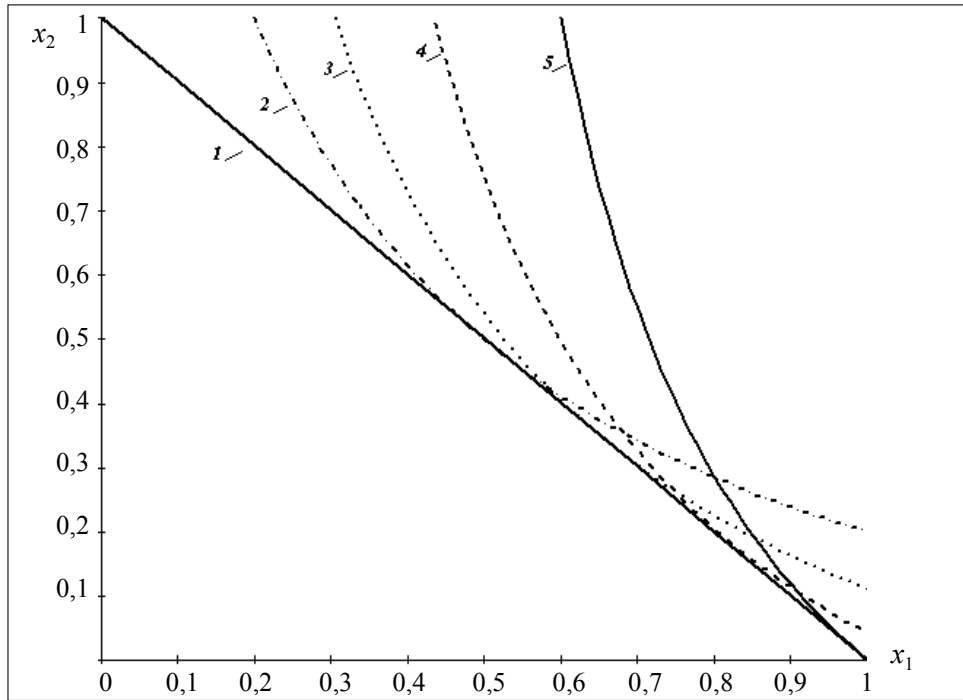


Рис. 4. Геометрична інтерпретація досягнення оптимуму в системі з двох об'єктів захисту інформації при різних значеннях g_1 , g_2

Прирівнюючи перші похідні до нуля $\frac{\partial L}{\partial x_1} = 0$; $\frac{\partial L}{\partial x_2} = 0$; $\frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0$, отримуємо оптимальні значення

$$x_1^0 = \sqrt{\frac{g_1 y_1}{\lambda}} - y_1, \quad x_2^0 = X - x_1^0, \quad \lambda = \frac{(\sqrt{g_1 y_1} + \sqrt{g_2 y_2})^2}{(X + y_1 + y_2)^2}.$$

Користуючись даними про обсяг інформації на об'єктах, захист має змогу визначити оптимальний розподіл ресурсів нападу, за якого можливе вилучення максимальної кількості інформації при різних значеннях g_1 та g_2 . На основі отриманих результатів захист приймає рішення про розподіл власних ресурсів з метою протидії нападу.

Оптимальний розподіл ресурсів захисту можна знайти також прямим шляхом, прирівнюючи похідні функції (3) до нуля: $\frac{\partial L}{\partial y_1} = 0$; $\frac{\partial L}{\partial y_2} = 0$;

$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = 0$. Оптимальні значення y_1^0 і y_2^0 розраховуємо за виразами:

$$y_1^0 = -x_1 + \sqrt{\frac{g_1 x_1}{|\lambda|}} \quad \text{та} \quad y_2^0 = -x_2 + \sqrt{\frac{g_2 x_2}{|\lambda|}}, \quad \lambda = -\frac{(\sqrt{g_1 x_1} + \sqrt{g_2 x_2})^2}{(X + Y)^2}.$$

У випадку, коли кількість об'єктів перевищує два, оптимальний розподіл ресурсів захисту знаходимо за формулою:

$$y_k = -x_k + \sqrt{\frac{g_k x_k}{|\lambda|}}, \text{ де } \lambda = -\frac{\left(\sum_{k=1}^l \sqrt{g_k x_k}\right)^2}{(X+Y)^2}.$$

ВИСНОВКИ

Проведені розрахунки показують, що оптимальний розподіл ресурсів як захисту, так і нападу фактично повторює співвідношення $g_1 : g_2$. Межі справедливості цього висновку може бути встановлено після проведення більш детальних досліджень із уточненням залежності $f(x, y)$.

Викладена методика може мати продовження в таких напрямках:

1. Ускладнення математичної моделі шляхом задання різних функцій $f_k(x, y)$ для кожного k -го об'єкта — відображення різного ступеня вразливості об'єктів, яка визначається рівнем їх природної та технічної захищеності.
2. Перехід до стохастичної задачі, коли параметри розрахунків g_k , p_k , $g_k(x)$ і форми залежностей $f_k(x, y)$ задаються за результатами їх експертної оцінки.
3. Двохетапний розв'язок поставленої задачі: перший етап — розвідка, другий — здобуття інформації; у цьому випадку оптимізації підлягає також розподіл ресурсів між етапами.
4. Аналіз комплексного протистояння двох сторін, коли кожна зі сторін розподіляє свої ресурси на два канали: захист своєї інформації та здобуття інформації про конкурента.
5. Розробка оптимального управління системою інформаційної безпеки — синтез оптимальних систем.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Вентцель Е.С.* Исследование операций. — М.: Советское радио, 1972. — 552 с.
2. *Таха Х.* Введение в исследование операций. — М.: Вильямс, 2005. — 912 с.
3. *Левченко Є.Г.* Оптимізація розподілу ресурсів між об'єктами захисту інформації // НТЖ «Захист інформації». — 2007. — № 1. — С. 33–38.
4. *Олексюк О.С.* Проблеми фінансування витрат на захист інформації в економічній діяльності // Праці Міжнародного Симпозіуму «Питання оптимізації обчислень». — 2009. — Т. 2. — С. 170–172.
5. *Задірака В.К., Олексюк О.С., Смоленюк Р.П., Штабальюк П.І.* Фінансування витрат на захист інформації в економічній діяльності // Університетські наукові записки. — 2006. — № 3–4 (19–20). — С. 479–490.
6. *Gordon L., Loeb M.* The Economics of Information Security Investment // ACM Transactions on Information and System Security, November 2002. — 5, № 4. — P. 438–457.
7. *Liu W., Tanaka H., Matsuura K.* Empirical-Analysis Methodology for Information-Security Investment and it's Application to Reliable Survey of Japanese Firms // IPSJ Journal, September 2007. — 48, № 9. — P. 3204–3218.

Надійшла 29.06.2009

УДК 681.3.06

АЛГЕБРАЇЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА КЛАСУ ГРАФОВИХ ПЕРЕТВОРЕНЬ

І.В. РЕДЬКО, Н.М. СНІГУР

Вивчено примітивні програмні алгебри багатомісних функцій над множиною скінчених графів. Дано алгебраїчну характеристику класу графових перетворювачів. Викладені результати є доповненням результатів, отриманих раніше для векторних, матричних, реляційних та табличних функцій.

ВСТУП

Робота присвячена дослідженню класу обчислюваних функцій на множині графів. Обчислюваність вводиться згідно з нумераційним підходом [1]. Вибір графових структур обумовлений їх важливістю та популярністю в теоретичному та прикладному програмуванні [2–10]. Зокрема в роботах [2, 3] визначено та досліджено поняття обчислювальної функції над скінченими графами (комплексами), робота [4] присвячена вивченню граф-схем алгоритмів, [5–8] — ізоморфізму графів, [9] — питанням абстрактної обчислюваності в різних областях, [10] — графовим засобам специфікації програм. При цьому треба зазначити, що практично всі згадані дослідження акцентують увагу безпосередньо на графи, не розглядаючи задачі огляду класу обчислюваних функцій над графами (класу графових перетворювачів).

Мета роботи — надати алгебраїчну характеристику класу обчислювальних функцій над графами. В якості інструменту дослідження обрано апарат примітивних програмних алгебр (ППА). Доцільність цього вибору обґрунтована результатами, отриманими, наприклад, в [11–18]. Основну увагу приділено пошуку породжуючої множини для такої ППА. Отримані в роботі результати доповнюють результати для векторних, матричних, реляційних та табличних функцій [11–14]. Усі використані та невизначені в роботі поняття та позначення розуміються в сенсі [14].

БАЗОВІ ВИЗНАЧЕННЯ, ПОНЯТТЯ, РЕЗУЛЬТАТИ

Носій ППА можуть складати або функції, залежні від змінних [11], або n -арні функції і предикати [12, 14]. Далі ППА розуміються в другому сенсі, тому під функціями (предикатами) мається на увазі n -арні функції

(предикати) для $n = 1, 2, \dots$, хоча при їх позначенні перевага віддається не операторній, а термальній формі запису, зважаючи на її компактність [1].

Сигнатуру ППА (позначатимемо Ω) складають операції суперпозиції, розгалуження та $(n+1)$ -арного циклування, що являють собою адекватні уточнення стандартних структур управління більшості мов програмування. Для зручності викладення матеріалу та його сприйняття корисно нагадати формальні визначення цих операцій [13].

1. Під суперпозицією розуміється $m+1$ -арна операція, позначувана S^{m+1} , $m = 1, 2, 3, \dots$, яка будь-якому кортежу $\langle \varphi, f_1, \dots, f_m \rangle$, де φ — m -арна функція; арність функцій f_i , $i = 1, \dots, m$ однакова й рівна, наприклад k , ставить у відповідність нову k -арну функцію ψ , що задається як: $\psi(\langle x_1, \dots, x_k \rangle) \equiv \varphi(\langle f_1(\langle x_1, \dots, x_k \rangle), \dots, f_m(\langle x_1, \dots, x_k \rangle) \rangle)$, для всіх $\langle x_1, \dots, x_k \rangle$.

2. Розгалуження (параметричне) являє собою $(m+1)$ -арну операцію \diamond_{β}^{m+1} , $m = 2, 3, \dots$, β — довільна, але фіксована унарна m -значна функція з множиною значень $\{1, 2, \dots, m\}$, яка кортежу функцій $\langle h, f_1, \dots, f_m \rangle$ однієї арності, наприклад s , ставить в залежності від параметра β у відповідність нову s -арну функцію g таку, що $g(\langle x_1, \dots, x_s \rangle) \equiv f_i(\langle x_1, \dots, x_s \rangle)$, якщо $\beta(h(\langle x_1, \dots, x_s \rangle)) = i$, $i \in \{1, \dots, m\}$.

3. Нарешті циклування являє собою $(n+1)$ -арну операцію $*^{(n+1)} : \langle p, f_1, \dots, f_n \rangle \rightarrow g$, $n = 1, 2, \dots$, де p — предикат, а f_i, g — функції, причому арність p, f_i, g дорівнює n . Значення $g(x_1, \dots, x_n)$ покладається рівним першій компоненті першого кортежу послідовності кортежів $\langle \langle y_i^1, \dots, y_i^n \rangle, i = 0, 1, \dots \rangle$, де $y_0^j \equiv x_j$, $y_{i+1}^j \equiv f_j(y_i^1, \dots, y_i^n)$, $i = 0, 1, \dots$, $j = \overline{1, n}$, для якого (позначимо його, наприклад, $\langle y_k^1, \dots, y_k^n \rangle$) $p(\langle y_k^1, \dots, y_k^n \rangle) = false$. Тобто, $g(\langle x_1, \dots, x_n \rangle) = y_k^1$. Якщо такого кортежу в послідовності не існує, то $g(x_1, \dots, x_n)$ вважається невизначеним.

Відзначимо, що операція $*^{(n+1)}$, по суті, є досить близькою до операції циклування, що досліджувалась у роботах [11–15, 17].

Очевидно, що $p * f = *^{(n+1)}(p, f, I_2^n, \dots, I_n^n)$, де арності p та f дорівнюють n . Звідси випливає, що всі твердження, отримані в [11–14] у межах попереднього визначення ППА, зберігаються при переході до зазначеного.

При термальній формі запису операцій з Ω будемо вказувати явно лише ті змінні, значення яких будуть суттєво використовуватись. Зокрема, для циклування будемо використовувати записи вигляду

$$p(x_1, \dots, x_n) *_{y_1 \dots y_m} \langle f_1(z_1^1, \dots, z_{k_1}^1), \dots, f_m(z_1^m, \dots, z_{k_m}^m) \rangle$$

вказуючи явно лише ті змінні, значення яких будуть змінюватись. При цьому функція $f_i(z_1^i, \dots, z_{k_i}^i)$ «керує» зміною значення змінної y_i , а змінна

u_1 вважається «вихідною». Відновлення операторного запису при цьому очевидно.

Ω складає сигнатуру ППА графових перетворювачів. Для того, щоб розглянути її носій — клас графових перетворювачів, попередньо звернемось до поняття графу. Тут будемо дотримуватись термінології, прийнятої в [13].

Під (скінченим) *орієнтованим графом* g розуміємо пару $\langle V, E \rangle$, де V — деяка злічена непуста множина об'єктів, а E — бінарне відношення на V .

Стандартна інтерпретація цих об'єктів V та E у цьому визначенні така: V — множина вершин графу, E — множина його дуг.

Надалі вершини графу позначатимемо латинськими літерами u, v, w , а дуги — літерами e, p, r , можливо з індексами, v_1, \dots, e_1, \dots . У випадку необхідності явно вказати вершини дуги та її напрям, використовуватимемо позначення $\langle v, u \rangle$, розуміючи, що дуга направлена від v до u .

Вершини v та u дуги $e \equiv \langle v, u \rangle$ будемо називати *суміжними*. При цьому дуга e вважається *додатно інцидентною* вершині u та *від'ємно інцидентною* вершині v . Кількість дуг, що додатно (від'ємно) інцидентні вершині w називаються додатним (від'ємним) ступенем w і позначаються $\delta_g^+(w)$ ($\delta_g^-(w)$). Вершину v графу $g \equiv \langle V, E \rangle$ називатимемо *від'ємно (додатно) інцидентною (від'ємною (додатною))* до вершини w того ж графу, якщо $\langle w, v \rangle \in E$ ($\langle v, w \rangle \in E$).

Прагматика дослідження, частиною якого є ця робота спонукає до виділення серед усього розмаїття графів таких, в яких E є рефлексивним. Така вимога є досить природною під час розгляду різного роду складних об'єктів, щодо яких коректно говорити про підлеглість їх складових. Тому надалі будемо розглядати тільки такі графи. Їх множину позначимо G .

Під *функціями* далі розуміємо часткові функції з аргументами і значеннями із G , а під *предикатами* — часткові предикати на G .

Обчислюваність на G вводиться як нумераційна обчислюваність, за допомогою арифметичної функції, що представляє цю функцію на G у зафіксованій нумерації множини G [19]. Існування такої нумерації впливає зі зліченості множини V .

Будь-яку частково-рекурсивну багатомісну функцію, або будь-який частково-рекурсивний багатомісний предикат (чр-функція, чр-предикат) будемо називати також *графовим перетворювачем*.

Через $A_G^{\text{чр}}$ позначимо ППА, носій якої складають графові перетворювачі на G . *Породжуючу множину* алгебри $A_G^{\text{чр}}$ назвемо її повною системою (ПС); ПС ППА — I_m^n *базисом*, якщо будь-яка її підсистема, що отримується видаленням будь-якого предиката, або будь-якої функції, відмінної від селекторної, вже не буде повною.

У силу зліченості множини V не буде суттєвим обмеженням, якщо покласти $V = N$. При цьому на множині вершин графу вводиться цілком природна впорядкованість.

Отримані нижче результати спираються на теореми про ізоморфізм та про базис ППА [3, 5]. У контексті цієї роботи їх можна сформулювати наступним чином.

Теорема (про ізоморфізм ППА). Бієктивне відображення $\theta_\alpha : A_G^{\text{чр}} \rightarrow A_N^{\text{чр}}$, яке співставляє кожній функції на G арифметичну функцію, яка її представляє (у заданій нумерації α_G) є ізоморфізмом ППА $A_G^{\text{чр}}$ на ППА $A_N^{\text{чр}}$, де $A_N^{\text{чр}}$ — ППА чр-функцій та предикатів на N .

Теорема про базис ППА. Існує I_m^n -базис алгебри $A_G^{\text{чр}}$, що складається з точністю до селекторних функцій з двох функцій та одного предиката.

Під час знаходження повної системи алгебри $A_G^{\text{чр}}$ корисними будуть такі визначення та пов'язані з ними результати.

Функція f -арності n зберігає множину $L \subset G, L \neq \emptyset$, якщо $f(\underbrace{L \times \dots \times L}_n) \subseteq L$ [4, 21].

Нехай $\beta : G \rightarrow 2^V$, де V — множина вершин (у роботі $V \equiv N$), а 2^B — множина всіх скінчених підмножин B .

Будемо казати, що функція f -арності n β — зберігає денотати, якщо існує скінчена множина $V_f \subset V$ така, що для будь-якого $\langle x_1, \dots, x_n \rangle \in \text{dom } f$ виконується

$$\beta(f(\langle x_1, \dots, x_n \rangle)) \subseteq \bigcup_{i=1}^n \beta(x_i) \cup V_f.$$

Легко переконатись, що визначені властивості графових перетворювачів зберігаються в сигнатурі Ω . Таким чином, є справедливими такі необхідні умови повноти для ПС $A_G^{\text{чр}}$.

Твердження 1. Будь-яка повна система алгебри $A_G^{\text{чр}}$ для будь-якої множини L ($L \subset G, L \neq \emptyset$) містить хоча б одну функцію, яка не зберігає цю множину для довільної множини L ($L \subset G, L \neq \emptyset$).

Твердження 2. Будь-яка повна система алгебри $A_G^{\text{чр}}$ містить хоча б одну функцію, що не є β -зберігаючою денотати.

Під час побудови у ППА зручними є логічні зв'язки для предикатів; вони легко моделюються в ППА за допомогою всюди істинного та всюди хибного предикатів (p_T, p_F), наприклад:

$$\begin{aligned} p(x_1, \dots, x_n) \vee q(y_1, \dots, y_m) &= \\ &= \diamond(p(x_1, \dots, x_n), p_T(x_1), \diamond(q(y_1, \dots, y_m), p_T(x_1), p_F)), \\ p(x_1, \dots, x_n) \& q(y_1, \dots, y_m) &= \\ &= \diamond(p(x_1, \dots, x_n), \diamond(q(y_1, \dots, y_m), p_T(x_1), p_F), p_F(x_1)), \end{aligned}$$

$$\neg p(x_1, \dots, x_n) = \diamond(p(x_1, \dots, x_n), p_F, p_T(x_1)).$$

Позначатимемо через $[\sigma]_\Omega$ замикання множини графових перетворювачів σ операціями сукупності Ω .

ППА ЧР-ФУНКЦІЙ І ЧР-ПРЕДИКАТИВ НА МНОЖИНІ СКІНЧЕННИХ ОРІЄНТОВАНИХ ГРАФІВ

Із зазначеного вище є цілком очевидним, що будь-який граф g можна ефективно представити деякою матрицею A_g , причому ефективність такого представлення прямо витікає з її побудови.

Покладемо $n \equiv \max \delta_g^-(v_i)$; k — кількість вершин g ; s_g — відсортований «по зростанню» вектор вершин g — $\langle v_1, \dots, v_k \rangle$, а $s_g^-(v) \equiv \langle v_{i_1}, \dots, v_{i_p} \rangle$ ($s_g^+(v) \equiv \langle v_{i_1}, \dots, v_{i_p} \rangle$), де $p = \delta_g^-(v)$ ($p = \delta_g^+(v)$) — відсортований «по зростанню» вектор усіх вершин графу g , які є від'ємно (додатно) інцидентними вершині v .

Матриця A_g розмірності $((n+1) \times k)$ може бути представлена як результат виконання такої ітеративної процедури.

i -й рядок матриці A_g може бути побудований таким чином:

$$a_{i1} := s_g[i]; \quad a_{ij} \equiv \begin{cases} s_g^-(s_g[i])[j-1], & j-1 \leq p \\ 0, & p < j-1 < n \end{cases}, \quad i = 1, k;$$

$$s_g[i] \equiv v_i; \quad s_g^-(v)[k] \equiv v_{i_k}.$$

Зокрема, у такому представленні порожньому графу, очевидно, відповідає порожня матриця Δ [14, 21], а графу, що являє собою сукупність непов'язаних між собою вершин із петлями, тобто графу $g \equiv \langle V, E \rangle$, де E — таке відношення, що $\langle v, u \rangle \in E \Leftrightarrow v, u \in V \ \& \ v = u$, відповідає матриця-стовпчик з перерахованими «по зростанню» вершинами графу.

$$A_g = \begin{Bmatrix} v_{i_1} \\ \vdots \\ v_{i_s} \end{Bmatrix}.$$

Використовуватимемо для графу g також більш змістовне позначення $g_{|E|}^{S_g}$, де $|E|$ — кількість дуг графу g .

Розглянемо такі функції на множині графів (граф-функції):

1. C_0^G — константна функція: $C_0^G(g) = g_0^1$.

2. S_G — для будь-якого графу $g \neq \Delta$ збільшення на одиницю його «першої» вершини $s_g[1]$. Таким чином, якщо

$$g_n^{<v_1, \dots, v_p>} \equiv \langle V, E = \{e_i \mid e_i = (v_{i_j}, v_{i_k}), i = \overline{1, n}; v_{i_j}, v_{i_k} \in \{v_1, \dots, v_p\}\} \rangle,$$

то $S(g_n^{<v_1, \dots, v_p>}) \equiv \langle V, E_1 \rangle$, де $E_1 = E \setminus \{< s_g[1], v_j > \mid < s_g[1], v_j > \in E\} \cup E_2$.

Тут $E_2 \equiv \{< s_g[1] + 1, v_j \mid < s_g[1], v_j > \in E\}$.

3. $\hat{\cup}$ — об'єднання графів: $g_1 = \langle V_1, E_1 \rangle$, $g_2 = \langle V_2, E_2 \rangle$, $g_1 \hat{\cup} g_2 = \langle V_1 \cup V_2, E_1 \cup E_2 \rangle$. Зокрема, у випадку коли графи розглядаються над єдиним простором вершин (у цьому випадку $V \equiv N$), для графів $g_1 = \langle V, E_1 \rangle$, $g_2 = \langle V, E_2 \rangle$ їх об'єднання є граф $g_1 \hat{\cup} g_2 = \langle V, E_1 \cup E_2 \rangle$.

Усі наступні операції будемо розглядати в контексті останнього зауваження.

4. \setminus — різниця графів: $g_1 = \langle V, E_1 \rangle$, $g_2 = \langle V, E_2 \rangle$, $g_1 \setminus g_2 = \langle V, E_1 \setminus E_2 \rangle$.

5. E_e — виділення «першої» дуги. Формально, це означає, що для будь-якого $g_n^{<v_1, \dots, v_p>} = \langle V, E \rangle$, $E_e(g_n^{<v_1, \dots, v_p>}) = \langle V, \{< s_g[1], s_g^-(s_g[1])[1] >\} \rangle$. Тут вираз $s_g^-(s_g[1])[1]$ очевидно означає «першу» вершину від'ємно інцидентну вершині $s_g[1]$. Надалі скрізь, де йтиметься про «першу» вершину графу, «першу» від'ємно (додатно) інцидентну вершину, «першу» дугу графу тощо, сказане розуміється нами в контексті зазначеного вище (для функцій S_G та E_e).

6. R — утотоження «першої» вершини графу з «першою» від'ємно інцидентною їй вершиною. Нехай $g_n^{<v_1, \dots, v_p>} \equiv \langle V, E = \{e_i \mid e_i = (v_{i_j}, v_{i_k}), i = \overline{1, n}; v_{i_j}, v_{i_k} \in \{v_1, \dots, v_p\}\} \rangle$ та $w \equiv s_g^-(s_g[1])[1]$. Тоді

$$R(g_n^{<v_1, \dots, v_p>}) \equiv \langle V, E_1 \rangle, \text{ де } E_1 = E \setminus \{< s_g[1], w \rangle\} \cup E_2.$$

Тут $E_2 \equiv \{< s_g[1], v_r \rangle \mid v_r = s_g^-(w)[r], r = 1, \dots, \delta_g^-(w)\}$.

7. A — стягування кореня графу з першою від'ємно інцидентною вершиною. Нехай

$$g_n^{<v_1, \dots, v_p>} \equiv \langle V, E = \{e_i \mid e_i = (v_{i_j}, v_{i_k}), i = \overline{1, n}; v_{i_j}, v_{i_k} \in \{v_1, \dots, v_p\}\} \rangle.$$

Тоді $A(g_n^{<v_1, \dots, v_p>}) \equiv \langle V, E_1 \rangle$, де $E_1 = E \setminus \{< s_g[1], v_j \rangle \mid < s_g[1], v_j \rangle \in E\} \cup E_2$.

Тут $E_2 \equiv \{< s_g^-(s_g[1])[1], v_j \rangle \mid < s_g[1], v_j \rangle \in E\}$.

8. \cup^* — об'єднання графів g_1 та g_2 із додаванням дуги із кореня графу g_1 в корінь вершини графу g_2 . Тобто, $g_1 \cup^* g_2 = g_1 \hat{\cup} g_2 \hat{\cup} \hat{\cup} \langle V, \{< s_{g_1}[1], s_{g_2}[1] >\} \rangle$.

9. E_v — виділення кореня графу $g = \langle V, E \rangle$: $E_v(g) = \langle V, \{< s_g[1], s_g[1] >\} \rangle$.

Також знадобляться ще й такі функції:

1. D_e — видалення «першої» дуги графу $g = \langle V, E \rangle$.
2. D_v — видалення кореня («першої» вершини), якщо вона ізольована.
3. E_v^{out} — виділення підграфу графу $g = \langle V, E \rangle$, що складається з кореня («першої» вершини) g та всіх від'ємно інцидентних їй дуг:
 $E_v^{\text{out}}(g) = \langle V, E_1 \rangle$, де

$$E_1 \equiv E \setminus \{ \langle s_g[1], v_j \rangle \mid v_j \neq s_g^-(s_g[1])[r]; r = 1, \dots, \delta_g^-(s_g[1]) \}.$$

4. C_{Δ_G} — функція генерації порожнього графу: $C_{\Delta_G}(g) = \Delta_G$.

Покладемо $\sigma_G := \{ C_0^G, S_G, \hat{\cup}, \setminus, E_e, R, A, \cup^*, E_v, =_G, I_m^n \}_{m=1,2,\dots}^{n=1,2,\dots}$.

Можна безпосередньо перевірити, що всі ці функції є частково-рекурсивними.

З метою моделювання граф-функцій векторними побудуємо кодуюче відображення $\phi: G \rightarrow N^*$, де $N^* = \bigcup_{i=0}^{\infty} N^i$, $N^0 = \{\Lambda\}$, таким чином. Нехай g — деякий граф, $A_g = \|a_{ij}\|_{mn}$ — відповідна йому матриця. Покладемо

$$\phi(\Delta_G) = \Lambda,$$

$$\phi(g) = a_{1i_1} \dots a_{1i_{l_1}} 0 a_{2j_1} \dots a_{2j_{l_2}} 0 \dots a_{mk_1} \dots a_{mk_{l_m}}, \quad (1)$$

де a_{si_r} — ненульові елементи матриці A .

Очевидно, ϕ — ін'єкція, але не сюр'єкція. Позначимо, $V := \phi(G)$. Вочевидь, ця множина є рекурсивною в нумерації α_G .

Нижче під L -функцією (L -предикатом) мається на увазі багатомісна часткова операція (предикат) на множині L .

Означення 1. V -функцію $F(x_1, \dots, x_n)$ назвемо векторним образом граф-функції $F(\xi_1, \dots, \xi_n)$, якщо $F(\phi(g_1), \dots, \phi(g_n)); \phi F(g_1, \dots, g_n)$ для всіх g_1, \dots, g_n . Аналогічно V -предикат $P(x_1, \dots, x_n)$ назвемо векторним образом граф-предиката $P(\xi_1, \dots, \xi_n)$, якщо $P(\phi(g_1), \dots, \phi(g_n)); \phi P(g_1, \dots, g_n)$ для всіх g_1, \dots, g_n .

Лема 1. Векторний образ чр-граф-функції (чр-граф-предиката) є чр- V -функція (чр- V -предикат).

Доведення. Доведення випливає із теореми 2.1.5 [22].

Безпосередньо із рекурсивності множини V випливає наступна лема.

Лема 2. Будь-яка чр- V -функція є чр- N^* -функцією (векторною чр-функцією). Для чр- V -предикатів аналогічно.

Наслідок 1. Векторний образ чр-граф-функції (чр-граф-предиката) є векторною чр-функцією (векторним чр-предикатом).

З метою моделювання векторних функцій граф-функціями побудуємо кодуюче відображення $\Phi: N^* \rightarrow G$ таким чином:

$$\Phi(\Lambda) = \Delta_G,$$

$$\Phi(v) = \left\| \begin{array}{c} 1 \\ \vdots \\ n \end{array} \begin{array}{c} v_1 \\ \vdots \\ v_n \end{array} \right\|.$$

Означення 2. Граф-функція $F(\xi_1, \dots, \xi_n)$ називається граф-моделлю векторної функції $F(x_1, \dots, x_n)$, якщо $F(\Phi(v_1), \dots, \Phi(v_n)); \Phi(F(v_1, \dots, v_n))$ для всіх v_1, \dots, v_n . Граф-модель предиката вводиться аналогічно.

Лема 3. Для будь-яких векторних чр-функцій та чр-предикатів існують їх граф-моделі, які належать замиканню $[\sigma_G]_\Omega$.

Доведення. Доведення проводиться індукцією по довжині відповідних константних термів алгебри $A_{\mathbb{N}^*}^{\text{чр}}$.

Базис. Граф-моделлю векторної функції C_0 є функція C_{G_0} , а функції $S — S_G$.

Побудуємо граф-моделі для Π, \circ .

1. $G_1(\pi, \xi) = (S(\pi) \neq \xi)_{\pi, \xi}^* \langle S(\pi), E_v(\xi) \rangle$. $G_1(\Delta_G, \xi)$ дає граф з однієї вершини, номер якої на 1 менший за номер першої вершини ξ .

$$G_2(\xi) = E_e(R(G_1(\Delta_G, \xi) \cup^* \xi));$$

$$G_3(\pi, \xi) = (\xi \neq \Delta)_{\pi, \xi, \zeta}^* \langle \pi \hat{\cup} \zeta, D_e(\xi), G_2(E_e(\xi)) \rangle.$$

Тоді $F_\Pi(g) = G_3(\Delta, D_e(g))$ — граф-модель функції Π .

2. Аналогічно тому, як ми будували функції G_3, G_4 , можемо визначити функцію, яка збільшує номер першої вершини на таку величину, яка нам потрібна. Позначимо її $M(\pi, \{n\})$, де $\{n\}$ — граф із однієї вершини, номер якої n . Тобто, функція $M(\pi, \{n\})$ повертає граф π , в якого перша вершина має номер n .

Нехай $F_2(\pi)$ — функція, яка перераховує дуги графа π (результатом її дії є граф з однієї вершини, що має номер рівний кількості дуг графу).

Позначимо $G_6(\pi, \xi, \zeta) = (\xi \neq \Delta)_{\pi, \xi}^* \langle \pi \hat{\cup} M(E_v^{\text{out}}(\xi), \zeta), D_v(\xi), \zeta \rangle$. Тоді

$F_\circ(g_1, g_2) = g_1 \hat{\cup} G_6(\Delta, g_2, g_1)$ — граф-модель функції \circ .

Індуктивний крок. Тут варто врахувати те, що суперпозиція граф-моделей векторних функцій є граф-моделлю суперпозиції відповідних векторних функцій. Для розгалуження та циклювання — аналогічно.

Нехай $\psi := \phi\Phi$. Очевидно, що $\psi : G \rightarrow \Phi(V)$ — бієкція. Через χ позначимо будь-яке розширення відображення ψ^{-1} . Граф-функції ψ та χ відіграють роль кодууючої та декодууючої функцій відповідно.

Безпосередньо із наведених вище означень впливає лема.

Лема 4. Нехай $F(\xi_1, \dots, \xi_n)$ — чр-граф-функція, а $H(\pi_1, \dots, \pi_n)$ — граф-модель векторного образу функції $F(\xi_1, \dots, \xi_n)$. Тоді

$$F(A_1, \dots, A_n) = \chi(H(\psi(A_1), \dots, \psi(A_n)))$$

для всіх $A_i, i = \overline{1, n}$.

Аналогічно, нехай $P(\xi_1, \dots, \xi_m)$ — чр-граф-предикат, а $K(\pi_1, \dots, \pi_m)$ — граф-модель векторного образу цього предиката. Тоді

$$P(A_1, \dots, A_n) = K(\psi(A_1), \dots, \psi(A_n))$$

для всіх $A_i, i = \overline{1, n}$.

Таким чином, для доведення повноти залишається побудувати функції ψ та χ .

Лема 5. Має місце

$$\psi, \chi \in [\sigma_G].$$

Доведення.

1. Почнемо з функції ψ .

Покладемо

$$G_1(\pi, \xi, \zeta) = (D_e(R(E_e(\zeta))) \neq \tau) \underset{\pi, \xi, \zeta, \tau}{*} \langle \pi \cup \xi, E_e(\zeta), D_e(\zeta), \tau \rangle.$$

$G_1(\Delta, g, D_e(R(E_e(g))))$ виділяє підграф усіх ребер, що є від'ємно інцидентними його першій вершині.

Розглянемо також $G_2(\pi, \xi, \zeta) = (\zeta \cup^* D_e(R(E_e(\xi)))) \hat{\cup} ((\xi \neq \Delta) \underset{\pi, \xi, \zeta}{*} \langle \pi \hat{\cup} (\zeta \cup^* A(E_e(\xi))), D_e(\xi), S_G(\zeta) \rangle)$. Тоді функція $G_2(\Delta, G_1(\Delta, g, D_e(R(E_e(g))))$, $g_0^1)$ перетворює перший підграф графу G необхідним чином.

Введемо ще функції $G_3(\{m\}, \{n\}) = (m + n)$ — збільшення номера вершини нульового графу на n , та $G_4(\xi) = \diamond((E_e(\xi) = \Delta), \Delta, F(\{1\}, D_e(\xi)))$, де $F(\pi, \xi) = (E_e(\xi) \neq \delta) \underset{\pi, \xi}{*} \langle S_G(\pi), D_e(\xi) \rangle$.

Отримаємо, що $G_5(\Delta, g, g_0, F)$, де $G_5(\pi, \xi, \zeta) = (E_e(\xi) \neq \Delta) \underset{\pi, \xi, \zeta}{*} \langle \pi \hat{\cup} (G_2(\Delta, \xi, S_G(\zeta))), \xi \setminus G_2(\Delta, \xi, S_G(\zeta)), S_G(G_3(\zeta, G_4(G_2(\Delta, \xi, S_G(\zeta)))))) \rangle$, кодує всі існуючі ребра графу G .

Нам залишилось додати до графу-коду \tilde{g} дуги, що відповідають ізольованим вершинам графу g . Для цього використаємо функцію

$$G_6(\pi, \xi, \zeta) = (\xi \neq \Delta) \underset{\pi, \xi, \zeta}{*} \langle \pi \hat{\cup} (\zeta \cup^* E_v(\xi)), D_v(\xi), S_G^2(\zeta) \rangle.$$

Таким чином, $\psi(g) = G_5(\Delta, g, g_0) \hat{\cup} G_6(\Delta, g \setminus ((\xi \neq \Delta) \underset{\pi, \xi}{*} \langle \pi \hat{\cup} E_e(\xi), D_e(\xi) \rangle), S_G^2(G_4(g_0^1, G_5(\Delta, g, g_0))))$ як раз задає функцію ψ .

2. Тепер розглянемо функцію χ .

Розглянемо функції

$$G_7(\pi, \zeta) = (S_G^2(D_e(R(\xi))) \neq D_e(R(E_e(\zeta)))) *_{\pi, \xi, \zeta} \langle \pi \hat{\cup} \xi, E_e(\xi), D_e(\zeta) \rangle,$$

$$G_8(\xi) = D_e(R(E_e(\xi))),$$

$$G_9(\pi, \xi, \tau) = (\tau \neq \Delta) *_{\pi, \xi, \zeta, \tau} \langle \pi \cup (\xi \cup^* \zeta), \xi, G_8(\tau), D_e(\tau) \rangle,$$

$$G_{10}(\pi, \xi) = (\xi \neq \Delta) *_{\pi, \xi} \langle \pi \hat{\cup} G_9(\Delta, G_8(G_7(\Delta, \xi))), D_e(G_7(\Delta, \xi)), \xi \setminus G_7(\Delta, \xi) \rangle.$$

Тут $G_7(\Delta, \tilde{g})$ виділяє підграф, який складається із дуг, від'ємно інцидентних першій вершині, потім другій тощо, поки не зустрінеться вершина, яка не має від'ємно інцидентних дуг. Функція $G_8(\tilde{g})$ визначає вершину, з якої мають виходити дуги до інших вершин. $G_9(\Delta, G_8(\tilde{g}_s), D_e(\tilde{g}_s))$ виконує перетворення виділеного підграфу $\tilde{g}_s = G_7(\Delta, \tilde{g})$. А отже,

$$\chi((\tilde{g})) = G_{10}(\Delta, (\tilde{g})).$$

Теорема 1. σ_G є породжуючою множиною алгебри $A_G^{\text{чр}}$.

Доведення. Доведення теореми безпосередньо впливає із наслідка 1 та лем 3, 4.

ВИСНОВКИ

Зауважимо, що рівність із сукупності σ_G не можна видалити як єдиний предикат системи.

З усіх функцій σ_G лише S_G не є зберігаючою денотати (денотата в цьому випадку — вершина). Лише функція E_e не зберігає множину графів, з кількістю дуг більшою або рівною 2. Лише функція E_v не зберігає множину графів, які мають хоча б одну (непусту) дугу.

Таким чином, функції S_G , E_e , E_v та предикат $=_G$ не можуть бути вилучені з породжуючої сукупності σ_G . Щодо інших функцій із σ_G питання залишається відкритим. Тому, хоча питання існування I_m^n -базису ППА $A_G^{\text{чр}}$ принципово вирішується відповідною теоремою, що наведена в розділі 2 цієї роботи, пошук природнього для області графових перетворювачів I_m^n -базису є актуальною задачею. Вирішенню останньої будуть присвячені декілька подальших робіт.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мальцев А.И. Алгоритмы и рекурсивные функции. — М.: Наука, 1965. — 391 с.
2. Колмогоров А.Н., Успенский В.А. К определению алгоритма // Успехи матем. наук. — 1958. — 13, № 4. — С. 3–28.

3. Asser G. Berechenbare Graphenabbildungen/-In: Kompliziertheit von Lern- und Erkennungsprozessen. — Jena: Friedrich-Schiller-Universität, 1975. — P. 7–17.
4. Заславский И.Д. Граф-схемы с памятью // Тр. мат. ин-та АН СССР. — 1964. — 72. — С. 99–192.
5. Babai L., Grigoryev D., Mount D. Isomorphism of graphs with bounded eigenvalue multiplicity // Proc. 14th ACM symp. On theory of comput., STOC. — 1982. — P. 310–324.
6. Пролубников А.В. Прямой алгоритм проверки изоморфизма графов // Компьютерная оптика: сб. научн. тр.; под ред. акад. РАН Ю.И. Журавлева. — Изд-во Самарского гос. ун-та. — 2007. — Вып. 27. — С. 123–128.
7. Foggia P., Sansone C., Vento M. A database of graphs for isomorphism and subgraph isomorphism benchmarking // Proc. of the 3rd IAPR TC-15 international workshop on graph-based representations. — Italy, 2001. — P. 157–168.
8. Spence E. The Strongly Regular (40, 12, 2,4) Graphs // The Electronical Journal Of Combinatorics. — 2000. — 7, № 1. — P. R22.
9. Еришов А.П. Вычислимость в произвольных областях и базисах // В кн.: Семиотика и информатика. Вып. 19. — М.: Изд. ВИНТИ, 1979. — С. 3–58.
10. Агафонов В.Н. Спецификация программ: понятийные средства и их организация. — Новосибирск: Наука, 1987. — 240 с.
11. Буй Д.Б., Редько В.Н. Примитивные программные алгебры целочисленных и словарных функций // Докл. АН УССР. Сер. А. — 1984. — № 1. — С. 69–71.
12. Буй Д.Б., Мавлянов А.В. К теории программных алгебр // Укр. мат. журн. — 1984. — № 6. — С. 761–764.
13. Буй Д.Б. Примитивные программные алгебры: автореф. дис. ... канд. физ.-мат. наук. — Киев, 1985. — 22 с.
14. Буй Д.Б., Редько В.Н. Примитивные программные алгебры. II // Кибернетика. — 1984. — № 5. — С. 1–7.
15. Буй Д.Б. Неперервність в індуктивних множинах: основні поняття та допоміжні результати // Вісн. Київського Ун-ту. Сер. фіз.-мат. науки. — 1998. — Вип. 1. — С. 142–148.
16. Буй Д.Б. Неперервність в індуктивних множинах: неперервність суперпозицій та суміжні результати // Вісн. Київського Ун-ту. Сер. фіз.-мат. науки. — 1998. — Вип. 2. — С. 187–195.
17. Буй Д.Б. Неперервність в індуктивних множинах: неперервність рекурсії та суміжні результати // Вісн. Київського Ун-ту. Сер. фіз.-мат. науки. — 1998. — Вип. 3. — С. 128–138.
18. Буй Д.Б., Поляков С.А. Композиційна семантика SQL-подібних мов: табличні структури даних, композиції, приклади // Вісн. Київського Ун-ту. Сер. фіз.-мат. науки. — 1999. — Вип. 1. — С. 130–140.
19. Еришов Ю.Л. Теория нумераций. — М.: Наука, 1977. — 416 с.
20. Голунков Ю.В. О полноте операций в системах алгоритмических алгебр // Алгоритмы и автоматы. — Казань: Изд-во Казан. ун-та, 1978. — С. 11–53.
21. Новиков Ф.А. Дискретная математика для программистов. — СПб: Питер, 2000. — 304 с.
22. Мальцев А.И. Конструктивные алгебры. Том I // Успехи мат. наук. — 1961. — № 3. — С. 3–60.

Надійшла 27.11.2009

ЗБЕРЕЖЕННЯ ЦІЛІСНОСТІ ВІДТВОРЮВАНОВОГО НА ШЛЯХУ ВЕРБАЛІЗАЦІЇ ОКРЕМОГО ФРАГМЕНТА ДІЙНОСТІ

Ю.І. КИСЛЕНКО

Проаналізовано ланцюжок перетворення «дійсність–текст» як непорушення цілісності відтворюваного фрагмента дійсності на шляху трансляції цієї інформації з образного на мовний рівень. Розглянуто структурно-функціональний рівень нейроорганізації зорового тракту, який забезпечує адекватне сприйняття довкілля (триєдиного у часі, просторі та дії), шляхом виокремлення з нього окремих ситуацій, диференціації їх за статичними/динамічними прикметами та однозначної ідентифікації всіх їхніх складників. Проаналізовано мовні засоби та їх організацію для адекватного відтворення окремого фрагмента.

ВСТУП

Робота пов'язана з аналізом однієї з найскладніших форм інтелектуальної діяльності людини — синтезом мовного повідомлення та стосується дослідження процедури вербалізації (трансляції на мовний рівень) окремого фрагмента дійсності **F**, який сприймається людською системою відчуттів, зокрема, зоровим аналізатором, через який сприймається близько 80–90 відсотків загальної інформації. Нас цікавитиме процедура відтворення в текстовій інформації цілісності фрагмента дійсності, що сприймається через систему відчуттів.

Йдеться про те, що мовленнєва діяльність людини, яка закінчується синтезом повідомлення, являє собою досить складну схему опрацювання та трансформації сенсорної інформації, що досліджується фахівцями багатьох помежованих напрямів. Якщо, наприклад, нас цікавитиме ланцюжок перетворення — зорова складова фрагмента середовища **F**, особливості сприйняття його нашим сенсором, запам'ятовування образу **F** в нейроструктурах нашого мозку з подальшою процедурою вербалізації цієї інформації, то для таких досліджень ми маємо залучати наукові здобутки фахівців із окремих напрямів інформаційного ланцюжка: нейрофізіологів, філософів, психологів і, звичайно ж, лінгвістів, які власне і займаються суто мовними питаннями.

ПЛАТФОРМА ДОСЛІДЖЕННЯ

Мовленнєва поведінка людини, загалом, може бути досліджена лише на шляху інтегрування сучасних досягнень багатьох помежованих сфер, пов'язаних із аналізом процедур сприйняття та опрацювання інформації нашою системою відчуттів, та з особливостями формування й організації мовної інформації. Сучасні дослідження у вказаних сферах дозволяють певним чином з'ясувати структурно-функціональні особливості цього процесу. Тож підґрунтям аналізу зазначеної проблеми, перш за все, будуть праці:

- *С. Зекі* — перша величина Америки з досліджень нейрофізіології зорового тракту, у відомій праці якого «Зоровий образ у свідомості та мозку» [1] наведено результати експериментальних досліджень щодо функціонального навантаження окремих нейроструктур зорового тракту, які є принципово важливими;

- *Дж. Хокінса* — автора публікації «Про інтелект» [2], відомого фахівця з комп'ютерної техніки, який останнім часом досить професійно знайомиться з архітектурою та функціями нервової системи людини, що у сукупності постає плідною основою нетрадиційного підходу до формування нової ідеології створення нейроподібних обчислювальних систем;

- *Ю.І. Кисленка* — автора цієї роботи, який вже має певний досвід плідного поєднання здобутків нейрофізіології з надбаннями сучасної лінгвістики: стаття в ДАН України «Нейрофізіологічне підґрунтя структурної організації мовного матеріалу» [3] за поданням О.О. Криштала — відомого вітчизняного нейрофізіолога; монографія «Від думки до знання» [4], де власне простежується весь ланцюжок перетворення інформації від образного до мовного рівня; монографія «Архітектура мови» [5], де подано нову синтаксичну модель мовної організації, що поєднує здобутки класичної лінгвістики з особливостями синтезу мовного повідомлення людиною, що дозволило об'єднати всі сучасні дані щодо мовної організації до чіткої несуперечливої системи;

- *А.Н. Гвоздєва* — дослідника розвитку мовної компетенції дитини, праця якого «Формування у дитини граматичного ладу російської мови» [6], визначає головні етапи онтогенезу мови дитини, що прокладає продуктивний місток і до розуміння особливостей філогенезу — розвитку мови в суспільстві;

- *Б.Ю. Городецького* — потужний досвід аналітичного дослідника мовних проблем якого, дозволив йому вийти на вищий рівень узагальнення з тезою, з'ясувати, що головна функція мови — це організація та подання знань [7], яка майже постійно підтверджується на кожному рівні наших досліджень.

Дослідження заявленої проблеми розбивається на дві частини, перша з яких пов'язана з питаннями сприйняття окремого фрагмента дійсності **F** відповідним сенсором та опрацювання цієї інформації (структура сенсора, виокремлення ситуацій S_i як складових **F**, виділення та аналіз окремих складників кожної ситуації S_i , структурні особливості організації як окремих ситуацій, так і їх складників тощо), тоді як друга — пов'язана з проблемами вербалізації заданого фрагмента (структурні особливості вербалізації окремих складників ситуацій S_i , особливості структурування всієї ситуації, питання взаємозв'язку окремих ситуацій на шляху відтворення фрагмента **F**). Особливість цього підходу в поєднанні характерних ознак структурно-функціонального рівня нейроорганізації систем відчуттів із найважливішими етапами вербалізації фрагмента **F**. Тобто, тут поєднуються сучасні здобутки нейрофізіології з багатовіковими дослідженнями мовної організації на шляху формування сучасних граматичних концепцій.

Ланцюжок досліджень стосується як особливостей сприйняття фрагмента зовнішнього світу нашою системою відчуттів (головним чином, зоровим

аналізатором), так і окремих стадій вербалізації цього фрагмента дійсності; при цьому пріоритетним питанням постає проблема адекватного відтворення **F** на мовному рівні, зокрема — непорушення цілісності відтворюваного фрагмента дійсності на шляху трансляції інформації з образного на мовний рівень. На рівні сприйняття та аналізу окремого фрагмента дійсності нас цікавитимуть, головним чином, процеси структурування фрагмента **F** за окремими ситуаціями, виділення та опрацювання окремих складників ситуацій. На рівні дослідження процесів вербалізації окремого фрагмента пріоритетними питаннями постають особливості вербалізації окремих ситуацій: виділення їх складників з визначенням категорійності, пов'язання категорій функціональними залежностями, формування вербалізованої форми окремої ситуації і, нарешті, поєднання множини вербалізованих ситуацій в єдине ціле.

СТРУКТУРНО-ФУНКЦІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ СПРИЙНЯТТЯ ДОВКІЛЛЯ СЕНСОРОМ

Тож для аналізу процесу сприйняття довкілля візьмемо фрагмент середовища **F**, який в певний момент попадає на сітківку ока. Коли наш світ існує у триєдності часу, простору та дії (вихідна посилка концепції цілісності), то і фрагмент цього світу теж буде пов'язаний непорушністю координат часу, простору та дії. Звичайно, фрагмент **F** може бути заповнений певною множиною елементів (складових) цього світу, які вирізняються досить впевнено людиною. У загальному випадку, фрагмент може бути або «пустим» (нуль елементів), або заповнений досить щільно різними об'єктами. Для кількісної оцінки здатності людського ока розрізняти множину об'єктів психологи ввели поняття актуального зорового поля (АЗП) — це та максимальна множина елементів зображення, яка одночасно сприймається людиною з більш-менш впевненою ідентифікацією кожного об'єкта. Кількісна оцінка АЗП людини за статистичними даними психологів складає близько сотні об'єктів. Слід лише зауважити, що тут ми не враховуємо форму АЗП, а підкреслюємо лише його функціональні особливості. Щоб оцінити, яким чином опрацьовуються окремі елементи АЗП звернімося до нейрофізіологів.

Зорова сітківка на периферії заповнена паличками (130×10^6 елементів), а в центрі («жовта пляма») щільно запакована колбочками (6×10^6). Їх функціональна різниця у тому, що роздільна здатність колбочок (можливість розрізняти найменші деталі зображення) значно вища від можливостей паличок, тоді як останні мають значно більшу чутливість до слабких значень освітленості. Варто зазначити, що площа «жовтої плями» займає лише 10 відсотків усієї сітківки, тобто туди потрапляє (а, отже, і опрацьовується за іншою програмою) не більше десяти складових усього АЗП.

Під час аналізу функціонального навантаження зорового тракту слід звернутися до С. Зекі — визнаного фахівця з досліджень нейрофізіології зорового тракту. На сьогодні вже експериментально підтверджено, що в межах зорового аналізатора існують ансамблі нейронів, які орієнтовані на дуже тонку ідентифікацію складових АЗП. Це стосується зорових систем усіх живих організмів, тому що однозначна ідентифікація елементів довкілля та

їх якості — це гарант виживання в реальному середовищі. Отже, функціональне навантаження зорового тракту людини матиме такий вигляд [1].

На перших етапах визначаються окремі складові фрагмента **F** шляхом реалізації функції Фон/Фігура (або 2Ф). Ця функція актуалізується вже на третьому прошарку — біполярних клітинах — нашої сітківки; результатом буде ідентифікація складових Obj/Subj всього фрагмента. Це перший етап опрацювання сенсорної інформації і стосується він усієї площини людської сітківки, заповненої як паличками, так і колбочками. Практично на цьому ж рівні, серед визначених складових вирізняються динамічні об'єкти, тобто, вирішується задача диференціації об'єктів на рухомі та нерухомі, що дозволяє впевнено визначити категорію руху Mov. Ці перші етапи опрацювання інформації нашою сітківкою вже добре відомі фахівцям, що дозволило розробникам інтегральних схем впевнено моделювати особливості нашої сітківки включно до рівня біполярних клітин. Це, практично, перший рівень опрацювання зорової інформації людиною. Проте визначення складових лише на рівні загальних категорій Obj, Subj та Mov не може бути достатнім для однозначної їх ідентифікації.

На другому рівні (зорова кора головного мозку) визначаються вже окремі прикмети Attr(Obj), Attr(Mov) — атрибути знайдених раніше складових. На сьогодні нейрофізіологами експериментально доведено, що існують ансамблі нейронів, які визначають усі прикмети складових, виокремлених на рівні сітківки. Проте й такого більш ретельного опису складових недостатньо для чіткої та однозначної ідентифікації знайдених раніше елементів. Далі експериментально підтверджено існування ансамблів нейронів, які, у свою чергу, визначають вже і саму міру Attr(Attr) раніше знайдених прикмет. Відповідно, кожна складова довкілля, що сприймається зоровим трактом Obj, Subj, або дія Mov, визначається не лише на рівні множини своїх прикмет, але й з урахуванням тонкої диференціації їх міри. Тут важливо зауважити, що атрибутивний рівень опрацювання зорового образу реалізується лише для фрагмента АЗП, що попадає на «жовту пляму», тому що лише колбочки здатні сприймати всю кольорову гаму та сприймати найдрібніші деталі складових середовища, визначаючи не лише їх прикмети, але й тонко диференціюючи міру цих прикмет.

Отже, урахування лише окремих здобутків нейрофізіології ока, які раніше були оприлюднені в роботі [4], дозволяє нам чітко окреслити найважливіші етапи опрацювання зорової інформації та формально визначити окремі поняття, якими користуватимемося у подальшому. *Фрагмент середовища (F)* — це частка довкілля, існуючого в триєдності часу, простору та дії, що попадає на сітківку людського ока і не перевищує обсягу актуального зорового поля в сотню об'єктів. *Ситуація (S)* — доля **F**, що попадає на «жовту пляму» сітківки та автоматично (незалежно від нашої волі) опрацьовується за загальною програмою із визначенням усіх складових на атрибутивному рівні, які не перевищують за обсягом 10 відсотків АЗП, тобто, складають не більше десяти елементів. Триєдність елементів (Obj, Attr(Obj), Attr(Attr)) та (Mov, Attr(Mov), Attr(Attr)), власне, і визначатиме цілісність відтворення на нейронному рівні таких категорій ситуації як Obj, Subj та Mov.

Усе це дозволяє нам вже тепер розкрити міфічну таємницю числа сім як психофізіологічної межі одночасного сприйняття людиною множини

об'єктів — ця кількість визначена на генетичному рівні нейроорганізації зорового тракту людини, не перевищує значення десяти і буде притаманною всьому роду людському, незалежно від нації та мови. Ще один важливий висновок випливає з попереднього: коли ситуація S займає десять відсотків АЗП, то фрагмент середовища F , що сприймається нашою сітківкою, охоплює близько десяти ситуацій, пов'язаних звичайно ж триєдністю часу, простору та дії. Проте в певний час за повною програмою (із визначенням усіх складових, їх прикмет та міри цих прикмет) опрацьовується лише одна ситуація. Для ретельного обстеження на атрибутивному рівні всього фрагмента F необхідно послідовно опрацьовувати всі ситуації. Це здійснюється за допомогою системи керування оком, яка по черзі проектує зображення кожної ситуації S_i на «жовту пляму» сітківки. Отже, природа на довгому еволюційному шляху свого розвитку створила дуже ефективну та економічну систему обстеження довкілля, комбінуючи поверхневе та ретельне обстеження окремих його ситуацій.

Процедура сприйняття фрагмента дійсності зоровим аналізатором (зі збереженням його цілісності та повної схеми опрацювання) виглядатиме таким чином. Нехай вже вибрано фрагмент довкілля F , що нас зацікавив. У загальному випадку це дуже непростий вибір, який залежить від: волі суб'єкта, фізичного та емоційного його стану, збереження гомеостазу, урахування поточних подій тощо, а також — від важливості конкретної ситуації навіть для виживання. Коли ж поточний фрагмент вже вибрано та зафіксовано пріоритетну ситуацію S_0 , то першочергово вона проектується на «жовту пляму» й опрацьовується за повною програмою, тобто — ідентифікуються всі складники ситуації за схемою $Obj, Attr(Obj), Attr(Attr)$ та визначається власне дія, знову ж таки, з урахуванням атрибутивного рівня $Mov, Attr(Mov), Attr(Attr)$. Усі інші ситуації (S_1, S_2, \dots, S_9) вибраного фрагмента F будуть опрацьовуватися за аналогічною процедурою з урахуванням відповідних пріоритетів їх проекції на «жовту пляму» сітківки. При цьому цілісність сприйняття окремих складників ситуацій визначається атрибутивним рівнем їх опрацювання, тоді як цілісність сприйняття й опрацювання всього фрагмента забезпечується, мабуть, умовами перекриття окремих ситуацій, коли певні складники однієї ситуації входять одночасно до кількох інших. Результати опрацювання окремого фрагмента дійсності у вигляді сукупності складників десяти ситуацій зберігаються довічно в нашій пам'яті як цілісний образ окремого фрагмента F .

Отже, ми вже простежили непорушення цілісності окремого фрагмента дійсності на шляху сприйняття та опрацювання його людською зоровою системою. Як ця цілісність актуалізується біологічно в нейронних структурах, нейрофізіологи не дають нам поки що відповіді. Але те, що цей механізм існує й успішно використовується живими організмами, підтверджується самим фактом існування життя.

ЕТАПИ ВЕРБАЛІЗАЦІЇ ЗОРОВОГО ФРАГМЕНТА ДІЙСНОСТІ

Нас цікавитиме тепер, яким чином цілісність зберігається на шляху вербалізації тієї інформації, що сприйнята вже людською сенсорною системою на

образному рівні та закодована в нейронних структурах. На цьому шляху важливо проаналізувати окремі етапи непорушення цілісності окремого фрагмента **F**:

- відтворення мовними засобами цілісності опису окремих складників ситуації як сукупності характеристик окремого об'єкта чи суб'єкта (Obj, Attr(Obj), Attr(Attr)) або дії (Mov, Attr(Mov), Attr(Attr));
- відтворення мовними засобами цілісності окремої ситуації, що охоплює близько десяти складників;
- відтворення на мовному рівні цілісності окремого фрагмента дійсності **F** як пов'язаної множини окремих ситуацій ($S_0, S_1, S_2, \dots, S_9$).

1. Відтворення цілісності окремих складників ситуації

Головне завдання нашої сенсорної системи — сприйняття та адекватне відтворення довкілля, що реалізується завдяки ретельній ідентифікації окремих ситуацій статичного та динамічного характеру. Коли зоровий аналізатор після опрацювання кожної ситуації формує множину трійок (Obj, Attr(Obj), Attr(Attr)) або (Mov, Attr(Mov), Attr(Attr)), то на етапі вербалізації мовні засоби мають бути організовані таким чином, щоб зберегти (або не порушити) цю цілісність.

Далі розглянемо, які мовні засоби має людина для відтворення окремих рівнів опису складників ситуації. Подамо співвідношення між категоріями образного рівня та мовними засобами для їх опису (таблиця).

Таблиця. Співвідношення елементів образного та мовного рівнів

Складові ситуацій образного рівня		Частини мови
Obj/Subj	Об'єкт/суб'єкт	Іменник
Attr(Obj)	Прикмета об'єкта	Прикметник
Attr(Attr)	Міра прикмети	Прислівник
Mov	Дія	Дієслово
Attr(Mov)	Прикмета дії	Прислівник
Attr(Attr)	Міра прикмети	Прислівник

Ліворуч подано результати опрацювання зоровим сенсором окремих складників довільної ситуації з визначенням категорій Obj, Subj, Mov, кожна з яких, в свою чергу, визначається на множині своїх прикмет Attr(Obj), Attr(Mov) з урахуванням їх міри Attr(Attr). Мовні засоби, які презентують ці категорії, добре відомі лінгвістам: будь-яку ситуацію можемо описати за допомогою чотирьох частин мови — іменника, прикметника, дієслова та прислівника (чисельники та займенники функціонують за схемами іменника або прикметника). Тож матимемо відповідність певних категорій, що виокремлюються людським зоровим аналізатором, та мовних засобів, які з'явилися на довгому еволюційному шляху філогенезу мови. Звідси матимемо [4] очевидний продуктивний висновок — у мові не може бути жодних інших категорій крім тих, що формуються в нейронних структурах. Інше узагальнення, яке вже неодноразово згадувалось, теж буде не менш важливим для нас — структура мовної організації багато в чому визначається структурно-функціональним рівнем нейроорганізації зорового тракту.

У загальному випадку, результат опрацювання окремого зорового образу подається його формою Obj , множиною прикмет $Attr(Obj)$, кожна з яких визначається ще й своєю мірою $Attr(Attr)$. Це схема, за якою опрацюється довільна складова образного рівня нашого довкілля. Для динамічних ситуацій досить ретельно опрацюється також категорія руху Mov , яка визначається на множині прикмет $Attr(Mov)$, кожна з яких має також ще й свою міру $Attr(Attr)$. Опрацювання складників ситуації за такою схемою дозволяє нам досить однозначно ідентифікувати довільну ситуацію довкілля. Якби цього було б замало для виживання роду людського, то на довгому шляху еволюції сформувалися б відповідні нейронні структури, які б дозволяли ще точніше ідентифікувати важливі для адекватної реакції елементи.

Якщо окрема ситуація S_i належатиме фрагменту F , цілісному в триєдності часу, простору та дії, то і сама вона визначатиметься триєдністю координат часу, простору та дії. Кожен з її складників, в свою чергу, визначається трійстою структурою, для якої характерною буде цілісність категорій Obj/Obj , множини прикмет $Attr(Obj)$ та їх міри $Attr(Attr)$; для динамічних ситуацій, відповідно, цілісність відтворення дії реалізується в триєдності Mov , множини прикмет $Attr(Mov)$ та $Attr(Attr)$. Отже, схеми опрацювання окремих складників ситуації на образному рівні подано на рис. 1.

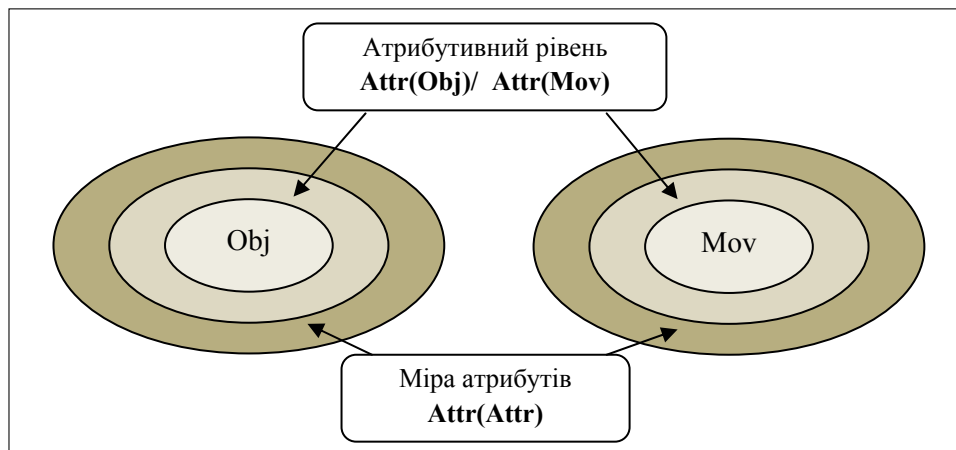


Рис. 1. Опрацювання категорій на атрибутивному рівні, де Obj — категорія об'єкта/суб'єкта, Mov — категорія руху (динамічна складова), $Attr(Obj)$ — прикмети категорії об'єкта, $Attr(Mov)$ — прикмети категорії руху, $Attr(Attr)$ — міра прикмет

Мовні засоби, що презентують визначені категорії, мають відтворювати цілісність як окремих складників ситуації, так і цілісність усього фрагмента F . Ця вимога потребує й певної організації мовних засобів, яка сформувалася на довгому шляху їх еволюції: категорії Obj/Obj відтворюються іменником, прикмети $Attr(Obj)$, $Attr(Subj)$ відтворюються прикметниками, тоді як міра $Attr(Attr)$ визначається прислівниками; відповідним чином, категорія дії Mov відтворюється дієсловом, а прикмети $Attr(Mov)$ та їх міра $Attr(Attr)$ визначаються прислівниками. Збереження цілісності опису окремих складників (категорій) ситуації S_i на шляху її вербалізації реалізується таким чином: атрибути $Attr(Obj)$ та $Attr(Subj)$, що відтворюються прикметниками, не можуть бути відірваними від носіїв цих прикмет і мають в повідомленні

займати місце пре/постпозиції відносно Obj або Subj, аналогічним чином міра прикмет Attr(Attr), яка відтворюється прислівниками, знову ж таки не може відриватися від своїх носіїв Attr(Obj) та Attr(Subj) і має займати пре/постпозицію щодо їх положення. Для збереження цілісності категорії Mov на шляху вербалізації S_i важливо, — щоб її прикмети Attr(Mov), які відтворюються прислівниками, не відривалися від свого носія, займаючи положення пре/пост позиції щодо Mov. Наступна вимога — міра прикмети Attr(Attr), відтворювана прислівниками, знову ж має розташовуватися поруч зі своїм носієм Attr(Mov), і займати місце пре/постпозиції. Це загальні вимоги організації мовних засобів щодо збереження цілісності складників окремої ситуації на шляху вербалізації інформації образного рівня. Частково вони можуть порушуватися лише в поезії, коли для адекватного сприйняття такого повідомлення мають вже застосовуватися певні семантичні важелі.

Необхідно зауважити, що подана вище процедура відтворення цілісності складових окремої ситуації на шляху її вербалізації розглядалася лише для випадку використання одного атрибута з його мірою. На рівні опрацювання окремої ситуації S_i зоривим аналізатором усі її складники автоматично (незалежно від нашої волі) опрацьовуються за повною програмою з визначенням усіх атрибутів та їх міри; тобто, кожен об'єкт Obj, суб'єкт Subj чи дія Mov ідентифікуються на множині своїх прикмет $Attr_i(Obj)$, $i = 0 - n$ або $Attr_j(Mov)$, $j = 0 - m$, та їх міри $Attr_i(Attr)$, $i = 0 - n$ відповідно. На мовному ж рівні процес вербалізації визначається виключно людиною і залежить від багатьох факторів. У кінцевому варіанті вербалізована форма відтворення складників може бути презентована багатьма варіантами (це може бути лише ім'я, ім'я з прикметником, ім'я з множиною прикметників тощо).

2. Відтворення триєдності часу, простору та дії на шляху вербалізації ситуації

Після аналізу процедури вербалізації складників важливо простежити вже особливості відтворення самої ситуації на мовному рівні. Якщо в реальному світі фрагмент середовища і окрема ситуація, зокрема, характеризуються триєдністю часу, простору та дії, і в наших нейронних структурах ця триєдність також фіксується, дозволяючи нам чітко ідентифікувати будь-яку раніше сприйняту ситуацію, то і на шляху вербалізації кожної такої ситуації ця триєдність має бути збережена. Отже, оскільки одна з найважливіших вимог до мовної організації — це презумпція адекватності мовного повідомлення відтворюваному фрагменту, то і проблема відтворення мовними засобами дійсності у триєдності часу, простору та дії постає однією з найважливіших вимог мовної організації. Важливо тепер проаналізувати, яким чином формувалися відповідні мовні засоби для відтворення цієї триєдності.

Неоціненними на цьому шляху будуть дослідження [6], які пов'язані з аналізом формування мовного ладу дитини (етап онтогенезу). Можемо прогнозувати, що особливості онтогенезу відтворюють характерні ознаки філогенезу мови (на підставі біогенетичного закону Геккеля). Перші етапи онтогенезу, за матеріалами А.Н. Гвоздева, були раніше проаналізовані в роботі [5]. Простежуючи вже навіть перші кроки актуалізації комунікативної

інтенції дитини, можемо зафіксувати появу мовних засобів для відтворення цілісності окремої ситуації. Сподіваємося, що така ж особливість була характерною і для філогенезу мови.

Вважаємо, що ретельні спостереження щодо початкових етапів опанування дитиною мовного ладу настільки якісно та професійно виконані, що дослідження А.Н. Гвоздєва ще довго слугуватимуть плідним підґрунтям для дослідників багатьох поколінь. У першому зверненні автора до питань онтогенезу було використано лише особливості та порядок опанування дитиною окремих частин мови, тоді нас цікавитиме друга частина, що пов'язана з формуванням синтаксичної структури, адекватної певною мірою відтворюваному середовищу. Тож основні етапи формування цілісного відтворення окремої ситуації, враховуючи здобутки дослідження А.Н. Гвоздєва вбачаються такими.

1. Початковий етап комунікативної інтенції дитини завершується формуванням ситуаційної схеми спілкування, коли одним звукокомплексом, а потім — і словом, позначається ціла ситуація з восьми-десяти складників, за нашими попередніми оцінками. Це дещо нагадує первісні схеми філогенезу, де одним словом визначалася цілком конкретна ситуація.

2. З часом, неоднозначність такого ситуаційного спілкування зумовлює необхідність чіткої ідентифікації найбільш важливих складових окремої динамічної (як найважливішої для виживання) ситуації. За А.Н. Гвоздєвим це і буде двоскладова структура з визначенням головних її складників Subj–Mov, що засвідчується одночасністю їх опанування дитиною у віці ще приблизно року (1 рік 1 місяць).

3. Майже одночасно, з відставанням у декілька місяців (1,10), коли дитина «начіпила» вже мовні ярлички на найважливіші складники свого оточення (етап членування елементів зовнішнього світу), вона опановує категоріями місця, простору та часу. Тож маємо підставу стверджувати, що мовні засоби для відтворення триєдності часу, простору та дії, як найважливіші компоненти цілісності відтворюваної ситуації, опановуються дитиною в ранньому віці і постають визначальними складниками опису окремої ситуації. Отже, *триєдність часу, простору та дії* вже забезпечена на мовному рівні, проте ситуацію поки що подано лише на двоскладовому рівні з актуалізацією сірконстант часу та простору.

4. Подальше наповнення вербалізованої схеми відтворення окремої ситуації реалізується завдяки формуванню більш повного предикативного оточення дієслова. За А.Н. Гвоздєвим дитина вже досить рано (приблизно у віці два з половиною роки) користується структурами з трьома залежними компонентами, а це, практично, вже гранична кількість предикативних відношень, якою користується доросла людина, бо чотири актанти (валентності дієслова) зустрічаються вже досить рідко. Отже, можемо констатувати, що у віці 2,6 – 3 роки дитина опановує засоби вербалізації всієї ситуації. Тут вже враховується схема керування дієслова всіма відмінками як з прийменниками, так і без (предикативні відношення), а також система використання обставин різного кшталту.

5. Важливо зазначити, що процес опанування схемою вербалізації займає досить значний час, бо спочатку ситуація відтворюється на рівні

окремих, не пов'язаних між собою «корнел», з поступовим переходом до використання засобів граматизації, що означає опанування флективними засобами для відтворення функціональних (синтаксичних) залежностей. Повна граматизація окремих типів зв'язків відбувається неодноразово, і лише згодом дитина опановує найскладніші з них. Отже, вербалізована форма відтворення окремої ситуації реалізована вже майже повністю на рівні використання лише імен окремих складників.

6. Все ж, і на рівні озвучення всіх імен, вербалізована схема подання ситуації визначається неоднозначністю; тут не вистачає засобів для повної та несуперечливої ідентифікації окремих її складників. Тобто, до імен складників окремої ситуації необхідно залучити ще й атрибутивний рівень. Тоді отримаємо повну схему опису довільної ситуації, де поєднуються засоби відтворення цілісності складників у триєдності імен, множин прикмет та їх міри з мовними засобами відтворення цілісності ситуації у триєдності часу, простору та дії.

Тож результатом поєднання сучасних досягнень нейрофізіології [1] з прискіпливими дослідженнями онтогенезу мови [6] вдається чітко та однозначно визначити власне сам об'єкт синтаксичних досліджень [9] — вербалізовану форму опису довільної ситуації, а також подати на формальному рівні її синтаксичну структуру, яка вже в попередніх працях автора [5] отримала ідентифікатор *базова семантико-синтаксична структура* (БССС), і постає узагальненою схемою формування всього мовного матеріалу. Ця структура, яка поєднала в собі надбання класичної лінгвістики з сучасними дослідженнями структурно-функціонального рівня нейроорганізації зорового тракту, враховує певні особливості синтезу мовного повідомлення людською нейронною структурою. БССС постає плідною основою формування нового бачення синтаксису, який знімає багато суперечностей класичної лінгвістики, визначається чіткою системною організацією і поданий у [5]. Формальне визначення БССС у засобах Бульової алгебри матиме вигляд:

$$SBO = \text{SUBJ} - \text{PRED} - (R_i * \text{OBJ}_i, i = 0, \dots, n) - (r_j * \text{OBJ}_j, j = 0, \dots, m),$$

де

$$\begin{aligned} \text{SUBJ/OBJ} &= \text{Obj} / \text{ATTR}(\text{Obj}) * \text{Obj} / \text{Obj} * \text{ATTR}(\text{Obj}) / \\ &\text{ATTR}(\text{ATTR}) * \text{ATTR}(\text{Obj}) * \text{Obj} / \text{ATTR}(\text{Obj}) * \text{ATTR}(\text{ATTR}) * \text{Obj} / \\ &\text{Obj} * \text{ATTR}(\text{ATTR}) * \text{ATTR}(\text{Obj}) / \text{Obj} * \text{ATTR}(\text{Obj}) * \text{ATTR}(\text{ATTR}), \\ \text{PRED} &= \text{Mov} / \text{ATTR}(\text{Mov}) * \text{Mov} / \text{Mov} * \text{ATTR}(\text{Mov}) / \\ &\text{ATTR}(\text{ATTR}) * \text{ATTR}(\text{Mov}) * \text{Mov} / \text{ATTR}(\text{Mov}) * \text{ATTR}(\text{ATTR}) * \text{Mov} / \\ &\text{Mov} * \text{ATTR}(\text{ATTR}) * \text{ATTR}(\text{Mov}) / \text{Mov} * \text{ATTR}(\text{Mov}) * \text{ATTR}(\text{ATTR}), \\ &0 < i < 7, 0 < j < 7, 0 < i + j < 7. \end{aligned}$$

На змістовному рівні БССС визначається як *двоскладова монопредикатна схема опису довільної ситуації реального або віртуального світу, усі складові якої визначені на атрибутивному рівні*.

Графічна інтерпретація БССС зображена на рис. 2.

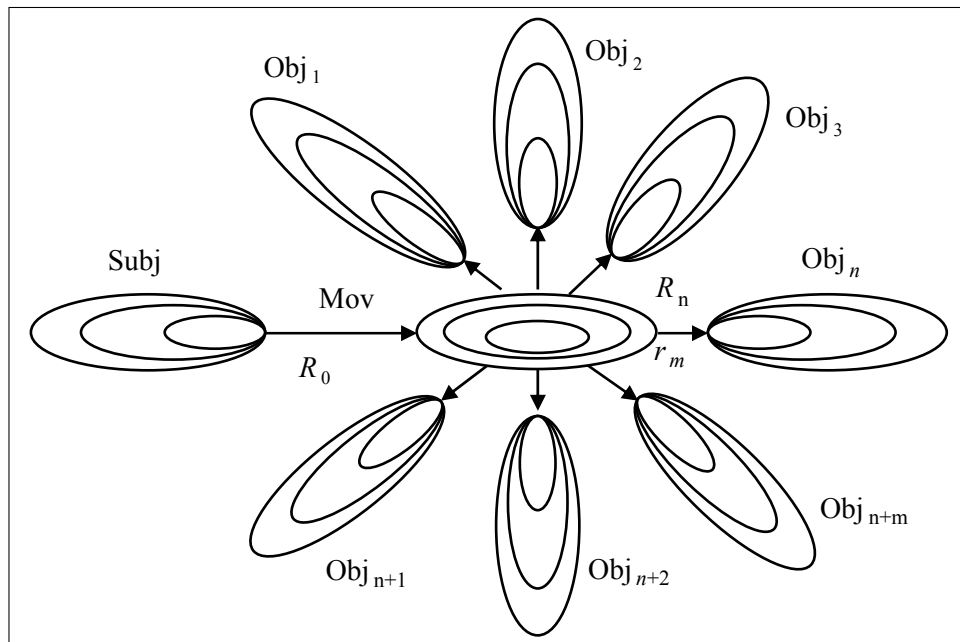


Рис. 2. БССС, де Subj — суб'єкт БССС, Mov—предикатор — дієслівне ядро предиката R_1, \dots, R_n — предикативні відношення, r_1, \dots, r_m — ситуаційні відношення, R_0 — головне відношення «мати предикат»

3. Відтворення цілісності фрагмента середовища на шляху вербалізації

У попередніх розділах було простежено певні етапи формування мовних засобів для відтворення цілісності ситуації в триєдності часу, простору та дії. Проте окрема ситуація S_i , у свою чергу, постає складником вже окремого фрагмента дійсності F . Тож виникає питання: як на мовному рівні забезпечується цілісність опису окремого фрагмента? Більш конкретно питання визначається таким чином: коли на довгому еволюційному шляху філогенезу мовна практика сформувала засоби для відтворення цілісності окремої ситуації, то які засоби існують для відтворення (непорушення) цілісності опису вже окремого фрагмента, представленого множиною таких ситуацій?

Відповідь на це питання в загальних рисах озвучена в роботі [8]: мовна організація є багаторівневою структурою, де кожна складова нижчого рівня має відповідні засоби для формування наступного (морфеми формують слово, флексії формують синтаксичну структуру повідомлення, певним чином організована множина повідомлень складає абзац, сукупність яких, у свою чергу, формує вже текст). Отже, конкретизуємо цю стратегію аналізу відповідно нашого бачення системної організації мови, де головним елементом постає БССС, а довільне повідомлення реалізується на монопредикатному (певні трансформації БССС) або поліпредикатному (множина БССС) рівнях.

Коли непорушення цілісності окремої ситуації на шляху відтворення її на мовному рівні вже проаналізовано, то важливо розглянути мовні засоби формування поліпредикатного рівня. Наше бачення системної організації мови зводиться до того, що повідомлення будь-якої складності подається через множину однотипних структур БССС, а це дозволяє перерахувати всі можливі варіанти та особливості формування довільного повідомлення.

Важливо звернутися до А.Н. Гвоздева, тому що відсутня можливість проаналізувати особливості формування різних етапів граматизації мовних засобів на шляху філогенезу, окрім як поглянути на них через призму онтогенезу. На жаль, у А.Н. Гвоздева опанування дитиною синтаксичного ладу завершується аналізом граматизації лише окремого повідомлення на моно-предикатному рівні. Проте, у загальному випадку, мовна організація визначається рекурсивним характером, де елементом рекурсії постає БССС, а не словосполучення [10] презентована процедура декомпозиції окремого повідомлення за стандартними структурами. Отже, довільне повідомлення формується множиною однотипних структур, пов'язаних за різними схемами, і власне організація цих зв'язків визначатиме засоби граматизації повідомлення довільної складності.

Одним із найважливіших чинників формування поліпредикатного рівня повідомлення постає явище згортки окремих складників БССС, які поновлюються реципієнтом під час сприйняття інформації, у першу чергу, з контексту (повідомлення, абзацу чи всього тексту), або з власного досвіду. Це явище найчастіше стосується окремих складників ситуацій та їх навантаження, що відтворюють найбільш поширені та сталі відношення реального світу. Урахування цього явища дозволяє простежити цілісність відтворення окремого фрагмента, незважаючи на відсутність формальних прикмет такого зв'язку — повторів. Крім того, потужними засобами формування поліпредикатного рівня постають процедури субстантивзації, адвербіалізації та ад'єктивності, а також ускладнення предикатора та використання однорідних членів. Саме ці засоби граматизації і дозволяють забезпечити цілісність відтворення множини ситуацій окремого фрагмента дійсності. Коли ж виходимо за межі окремого повідомлення моно- чи поліпредикатного рівнів, то цілісність складових окремого абзацу формується завдяки використанню повторів, актуалізованих явним або неявним чином. Більш ретельно особливості використання засобів граматизації поліпредикатного рівня презентовані [5].

ВИСНОВКИ

Таким чином, ми простежили використання мовних засобів та їх організацію на шляху вербалізації окремого фрагмента дійсності (триєдиного в часі, просторі та дії), які забезпечують непорушення цілісності відтворюваного. Послідовно було розглянуто: використання мовних засобів для відтворення цілісності окремих складових у триєдності імені, множини прикмет та їх міри; особливості пов'язання таких складників відповідними функціональними залежностями в межах БССС; проаналізована організація мовних засобів на шляху формування повідомлення поліпредикатного рівня; і, нарешті, визначено організацію мовних засобів на шляху формування окремого абзацу. Практично визначений структурний рівень організації мовних засобів для відтворення ієрархічної послідовності складників довкілля Obj, Subj, S, F, що спирається на триєдність категорій часу, простору та дії.

Важливо підкреслити, що питання організації мовних засобів для відтворення цілісного фрагмента дійсності розглядалися на шляху дослідження

процедури вербалізації окремої ситуації образного рівня нашого довкілля. Загалом, текст може відтворювати певні залежності ситуацій реального або віртуального світу, де не завжди чітко простежується цілісність кожної ситуації у трисвідності часу, простору та дії. Проте процедура вербалізації і таких віртуальних ситуацій, синтезованих нашою головою на абстрактному рівні, теж підпорядкована біогенетичному закону Геккеля і ґрунтується на залежностях, сформованих на ранніх етапах онтогенезу мови.

Але, коли на шляху онтогенезу дитина опановує мовним ладом при безпосередньому зіставленні образної ситуації з її мовним еквівалентом, то можемо прогнозувати, що і на шляху філогенезу розвиток мовних засобів проходить ті ж етапи: чіткої ідентифікації окремих складників, їх об'єднання в межах окремої базової структури та формування правил їх поєднання в більш складне мовне утворення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Зеки С. Зрительный образ в сознании и мозге: сб. тр. // В мире науки. — М.: Мир, 1992. — № 11–12. — С. 33–41.
2. Хокинс Дж., Блейкли С. Об интеллекте. — М.: Изд. дом «Вильямс», 2007. — 240 с.
3. Кисленко Ю.І. Нейрофізіологічне підґрунтя структурної організації мовного матеріалу / Доп. НАН України. — Київ: Видав. дім «Академперіодика», 2007. — № 11. — С. 158–164.
4. Кисленко Ю.І. От мысли к знанию (нейрофизиологические основания): монографія. — Київ: Изд. «Український літопис», 2008. — 101 с.
5. Кисленко Ю.І. Архітектура мови (лінгвістичне забезпечення інтелектуальних інтегрованих систем): учеб. посіб. НТУУ«КПІ». — Київ: «Віпол», 1998. — 343 с.
6. Гвоздев А.Н. Формирование у ребенка грамматического строя русского языка: в 2-х ч. Ч. 2. — М.: Изд. АПН, 1949. — 268 с.
7. Компьютерная лингвистика: моделирование языкового общения: пер. с англ. / Сост., ред. и вступ. ст. Б.Ю. Городецкого. Сер. «Новое в зарубежной лингвистике». — М.: Прогресс, 1989. — Вып. 24. — 432 с.
8. Звегинцев В.А. Предложение и его отношение к языку и речи. — М.: Изд. МГУ, 1976. — 308 с.
9. Астахова Л.И. Предложение и его членение: прагматика, семантика, синтаксис. — Днепропетровский: Изд. ГУ, 1992. — 160 с.
10. Кисленко Ю.І. Рекурсивный синтаксический анализатор // Наук. вісн. каф. ЮНЕСКО Київського держ. лінгвістичного ун-ту. — 2000. — Вип. 1. — С. 157–164.

Надійшла 17.03.2010



УДК 51.001.57+004.652.4+004.827

**ФОРМАЛЬНЕ ПОДАННЯ ПРОСТОРУ ДАНИХ У ВИГЛЯДІ
АЛГЕБРАЇЧНОЇ СИСТЕМИ**

Н.Б. ШАХОВСЬКА

Проаналізовано проблеми опрацювання розрізнених даних. Побудовано формальну модель простору даних та уведено операції над ним. Показано алгебраїчні системи бази даних та сховища даних, які є підкласами алгебраїчної системи «простір даних». Визначено особливості інтеграції даних із різнорідних джерел. Побудовано схему інтеграції даних та засоби обміну даними.

ВСТУП

Інформаційне суспільство — суспільство, в якому створення, поширення, дифузія, використання, інтеграція та маніпулювання інформацією — важлива господарська, політична і культурна діяльність [6].

Специфікою цього виду суспільства є те, що інформаційна технологія є центральною позицією для виробництва, економіки та суспільства загалом. У сучасному суспільстві інформація є найдорожчою цінністю, а індустрія отримання, опрацювання і трансляції інформації — провідною галуззю діяльності, в яку з кожним роком все більше інвестують грошей. Як вважають провідні вчені, інформація є важливим стратегічним ресурсом, відсутність якої призводить до суттєвих втрат в економіці. Інформатизація суспільства виступає одним із вирішальних чинників модернізації економіки на ринкових засадах і запорукою інтеграції України у світове співтовариство.

Для прийняття адекватних рішень у певній галузі необхідно, щоб дані, які надходять із різних джерел і використовуються для прийняття керівних рішень, задовольняли такі вимоги:

- були повними, несуперечливими та вчасно надходили;
- були інформативними, оскільки вони застосовуватимуться для прийняття рішень;
- були однакової структури, для можливості завантажувати їх у єдине сховище даних та аналізувати;
- зберігалися в однакових моделях даних та були незалежними від платформи розроблення, для можливості використання їх іншими засобами.

Однак, на сьогодні немає жодної методики опрацювання даних, яка б задовольняла всі зазначені вимоги до опрацювання даних, тому немає мож-

ливості аналізувати стан галузі загалом, використовуючи першоджерела інформації, а не визначені наперед статистичні звіти. Так, наприклад, для керівництва туристичною галуззю використовуються результати аналізу зведеної форми 1 Тур та надходжень із митниць. Така наявна інформація дозволяє фіксувати факт настання певної причини та її наслідки, але найчастіше не дозволяє визначати причини, оскільки для аналізу використовується обмежена і наперед жорстко визначена частина інформації.

За останні роки спостерігалось зростання потреби в «даних, які застосовуються у всіх сферах», що призвело до виникнення нового типу інформаційної інтелектуальної системи. Найгостріші проблеми керування інформацією виникають в організацій (наприклад, готелів, баз відпочинку, оздоровчих закладів, туристичних агентств), робота яких полягає в опрацюванні великої кількості різнотипних, взаємозалежних джерел даних. Такий тип системи отримав назву «простір даних». На відміну від систем інтеграції даних, що також пропонують загальноприйнятий доступ до різнорідних джерел даних, простори даних не припускають, що всі семантичні взаємозв'язки між джерелами відомі та вказані. Багато користувачів, які працюють із просторами даних проводять дослідження даних, і немає єдиної схеми, за якою вони можуть створювати запити. Тому важливо, що запити є дозволеними елементами, щоб конкретизувати різні ступені структури, при цьому використання ключового слова робить запит більш структурованим.

Простір даних розглядають як нову абстракцію керування даними [4]. Основоположником ідеї просторів даних був А. Хелеві. Нині розроблюються два проекти, орієнтовані на підтримку просторів індивідуальних даних. Перший з них — проект SEMEX (SEMantic Explorer — система навігації та пошуку по повнотекстових документах), виконується у Вашингтонському університеті під керівництвом А. Хелеві. Другий, називається iMeMex, виконується під керівництвом Йенса-Петера Диттриха в компанії «ETH Zurich». Проте, як видно з аналізу Інтернет-джерел [2, 3], жоден із проектів ще не формалізував поняття простору даних, що, у свою чергу, призводить до розрізненості підходів роботи з ними.

Мета роботи — формалізація та математичний опис простору даних з метою уніфікації описів джерел даних; розроблення алгебраїчної системи класу «простір даних».

Об'єктом дослідження є процес консолідації даних певної галузі за умов наявності різнотипних джерел даних.

Предметом дослідження є методи підвищення якості консолідованих даних, отриманих із різнотипних джерел.

АЛГЕБРАЇЧНА СИСТЕМА КЛАСУ ПРОСТОРУ ДАНИХ

Введемо деякі означення.

Інформаційний ресурс (ІР) — дані, які можна багаторазово використовувати для вирішення проблем користувача. Прикладами інформаційних ресурсів є текстові файли, веб-сторінки, електронні таблиці, xml-файли, бази даних, сховища даних.

Структура даних ІР (СДІР) — загальна властивість інформаційного об'єкта, з яким взаємодіє та або інша програма. Ця загальна властивість характеризується:

- множиною допустимих значень цієї структури;
- множиною допустимих операцій;
- характером організованості.

Каталог ІР — метадані про ІР. Описує місцезнаходження ІР, його СДІР, методи доступу тощо.

Множина інформаційних ресурсів I_r предметної області містить найповнішу інформацію про предметну область. Такий вид інформації називатимемо консолідованою. Якість прийнятих рішень на основі консолідованої інформації є вищою, ніж на основі даних з точкових джерел, оскільки є можливість пошуку прихованих залежностей даних. Множина всіх інформаційних ресурсів предметної області — простір даних.

$$DS = \langle DB, DW, Wb, Nd, Gr \rangle, \quad (1)$$

де DB, DW, ODW, Wb, Nd, Gr — інформаційні ресурси, що подають множини баз даних, сховищ даних, веб-сторінок, текстових файлів, електронних таблиць та графічних даних відповідно.

Стан інформаційного ресурсу — зафіксований у певний момент часу вміст інформаційного ресурсу (даних) та відомостей про нього. Стан інформаційного ресурсу позначатимемо S_{I_r} .

Стан простору даних — стани всіх інформаційних ресурсів предметної області (множина даних) та відношень між ними. Стан ПД позначатимемо S_{DS} .

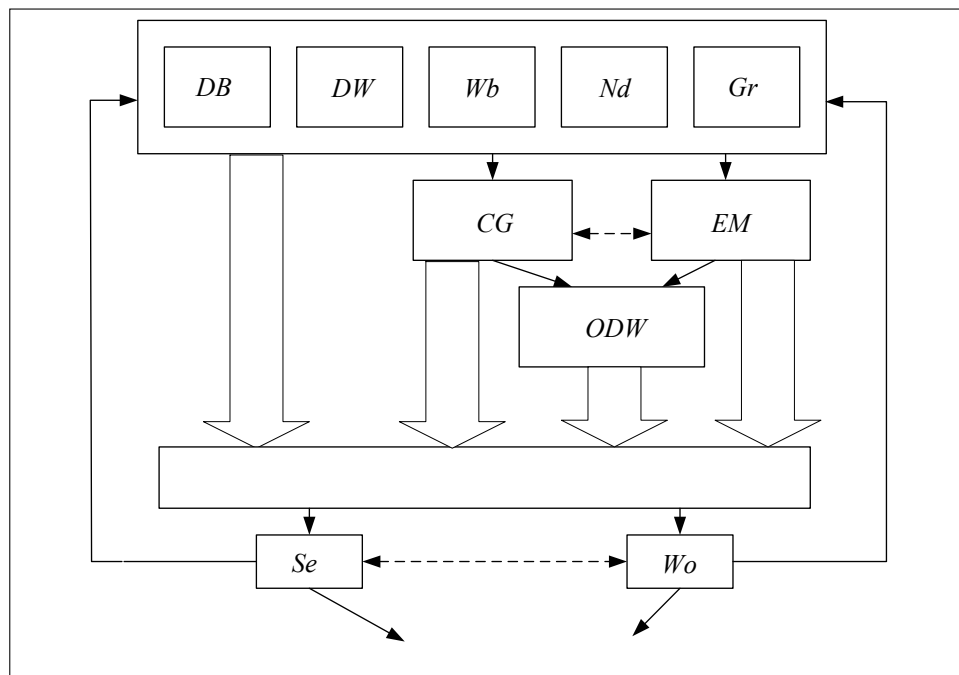


Рис. 1. Схема зв'язку елементів простору даних

Множину інформаційних ресурсів простору даних, операцій над ними та предикатів на множині I_r називатимемо алгебраїчною системою класу «простір даних».

$$DS = \langle Ir, \Omega_P, \Omega_F \rangle, \quad (2)$$

де $Ir = DS$ — множини інформаційних ресурсів певної предметної галузі (баз даних DB , сховищ даних DW , статичних Web-сторінок Wb , текстових даних Nd графічних та мультимедійних даних Gr), $\Omega_P = \{O_{P_0}, O_{P_u}, O_{P_b}\}$ — множина операцій над інформаційними ресурсами, де: O_{P_0} — нульварна операція, результатом якої є стан заданого інформаційного ресурсу; O_{P_u} — множина унарних операцій над простором даних DS . Результатом цих операцій є зміна стану простору даних; O_{P_b} — множина бінарних операцій над просторами даних. Результатом цих операцій є утворення нового простору даних. Ω_F — множина предикатів, заданих на множині інформаційних ресурсів простору даних. Серед предикатів також є нульварний предикат Ω_{F_0} , результатом якого є TRUE, якщо для заданого інформаційного ресурсу Ir відомого його структури даних, та FALSE в іншому випадку.

Алгебраїчна система (2) скінченна, оскільки множина інформаційних ресурсів DS є скінченною [1].

Інформаційні ресурси простору даних

Говорячи про інформаційний ресурс, матимемо на увазі його вміст (дані). Також описуватимемо операції, які виконуються над даними залежно від його СДІР.

Як вже було перераховано вище, інформаційними ресурсами простору даних є текстові файли, електронні таблиці, веб-сторінки, графічні файли (карти, об'єкти на яких задані точково або векторно), бази даних та сховища даних.

Основною операцією, що виконується над вмістом текстових файлів, електронних таблиць та веб-сторінок є операція пошуку. Структури даних цих інформаційних ресурсів є простими, і як відомо, називаються типами даних, тому детально описуватись не будуть.

Реляційна база даних — це алгебраїчна система, в якій носієм є множина реляційних відношень r , множиною операцій — реляційна алгебра \mathfrak{R} , множиною предикатів — словник даних (схема даних бази даних) R [2].

$$DB = \langle r, \mathfrak{R}, R \rangle, \quad (3)$$

$$\mathfrak{R} = \{\pi, \sigma, \bowtie, \cup, \cap, -\}.$$

Сховищем даних (СД) назвемо шістку

$$DW = \langle DB, rf, RF, rm, RM, func \rangle,$$

де DB — множина вхідних баз даних (реляційних, багатовимірних, об'єктно-орієнтованих, ненормалізованих тощо, або множина відношень, їх схем та обмежень цілісності, які містять інформацію з вхідних баз даних), rf — множина відношень фактів, RM — схема rf , rm — множина відношень метаданих, RM — схема rm , $func$ — множина процедур прийняття рішень.

Метадані — дані, що містять опис структури сховища даних, джерел та приймачів даних тощо (дані про дані).

Тоді нові дані (або рішення) — це результат застосування функцій сховища даних над відношенням фактів:

$$Design = func(rf, user_param),$$

де $user_param$ — множина параметрів користувача або вимог, які ставляться до рішення.

Відношення між вимірами — відношення, яке є зв'язком між певними вимірами та відношенням фактів:

$$V_1 \times V_2 \times \dots \times V_n \times rf \rightarrow rel.$$

У відношенні фактів виміри подаються за допомогою зовнішніх ключів, а самі значення — за допомогою атрибутів агрегації. У свою чергу, rel можуть бути параметрами для інших відношень між вимірами і тим самим створювати ієрархію вимірів.

Отже, хоча інформаційні ресурси, що входять в ПД, за своїм характером є різними та керуються різними платформами, проте вони всі виконують однакову роль: надають дані для простору даних через фіксацію свого стану та забезпечують виконання притаманних для них операцій, причому ці операції та їх результати є визначені для всього простору даних.

ОПЕРАЦІЇ АЛГЕБРАІЧНОЇ СИСТЕМИ КЛАСУ «ПРОСТІР ДАНИХ»

Нульарна операція. Результатом нульарної операції над простором даних DS є стан заданого інформаційного ресурсу:

$$S_{I_r} = O_{P_0}(DS).$$

Наприклад, нульарний оператор поверне стан заданої бази даних i : $S_{DB_i} = O_0(DS)$.

Унарні операції. Унарними операціями над просторами даних є шістька:

$$O_{Pu} = \{Agent(\aleph), Se_{simple}, Se_{structured}, Se_{meta}, \sigma_{access}, Agent\},$$

де $\aleph = \{\aleph, \xrightarrow{consolid}, \sigma_{fed}, Ag, func\}$ — операції над інформаційними ресурсами з відомими СДІР, $Agent(\aleph)$ — операції над інформаційними ресурсами з попереднім визначенням СДІР.

Визначення СДІР даних здійснюється за допомогою інтелектуального агента

$$EM(CG) \xrightarrow{Agent} ODW. \quad (4)$$

Агент Op подається сімкою об'єктів:

$$Agent = \langle CG, EM, Dic, Experience_Base, Solver, Effector \rangle, \quad (5)$$

де CG — ідентифікатор внутрішнього стану агента (інформація про джерела, що вже є у ПД); EM — компонента агента, що відповідає за сприйняття

середовища (сенсор), тобто середовище керування моделями; *Dic* — база знань, що містить знання агента про власні можливості (терміни-синоніми, що позначають у джерелах одні й ті ж властивості);

Experience Base — база накопиченого досвіду агента, що містить «історію» впливів на агента з боку середовища й відповідної їм реакції агента ($Experience_Base = \sigma_{evdate=Date()}(Dic)$); *Solver* — компонента, що відповідає за навчання (подає список розбіжностей, які виявив агент); *Effector* — компонента, яка відповідає за дії агента (формування запиту по декількох джерелах, приведення результатів запитів по джерелах до єдиної структури, відмова у запиті).

В основі роботи агента лежить інформація про джерела, які вже є у просторі. Його завданням є порівняння структур даних джерела даних, що входять у простір, із структурами даних джерел, що вже є у просторі, а також визначення різниці. Це дозволить автоматизувати формування запитів, що виконуватимуться у просторі даних.

Чим більше джерел здатний «розрізнити» агент, тим точніше буде інформація в *ODW* і тим ефективніше можна буде проводити процедури інтеграції, пошуку та опрацювання даних у просторі даних *DS*.

Розглянемо завдання порівняння інформації з двох схем даних для однакових фізичних сутностей. При цьому допускається, що схеми мають різні системи кодування, тобто той самий об'єкт може мати в цих схемах різні ідентифікатори. Допускається, що назви таблиць, атрибутів і розподіл атрибутів по таблицях можуть розрізнятися. Але передбачається, що між схемами існують взаємозв'язки, які можуть бути задані експертами. Наше завдання — класифікувати типи можливих взаємозв'язків і знайти необхідні умови для рішення різних завдань інтеграції даних на основі цих взаємозв'язків.

Нехай деяка сутність описується в першій схемі даних відношенням *A*, що містить кортежі $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$, а в другій схемі даних відношенням *B*, що містить кортежі $\{y_1, y_2, \dots, y_m\}$. Відношення *A* і *B* можуть бути як окремими таблицями в реляційній схемі даних, так і переглядами. Запишемо формально умову, що *A* і *B* містять однакові фізичні сутності. Будемо вважати, що в цьому випадку існують взаємозв'язки між окремими атрибутами x_i та y_i .

Розглянемо різні типи таких взаємозв'язків між двома скалярними атрибутами x та y , визначеними на скінченних доменах X та Y відповідно.

- Змістовний взаємозв'язок доменів. Найзагальнішим типом взаємозв'язку можна вважати випадок, коли ми хоча б можемо визначити, чи співпадають об'єкти по атрибутах x та y , або не співпадають і чи співпадають назви-синоніми у словнику термінів *Dic*. Тобто, задана функція змістовної еквівалентності: $P: X \times Y \rightarrow \{0,1\}$, $Dic_{X=Y}$. $P(x, y) = 1$, якщо по атрибутах x та y об'єкти співпадають, $P(x, y) = 0$ в іншому випадку. Якщо $P(x, y) = 1$ і $Dic_{X \neq Y}$, то доповнюємо *Dic* новими синонімами.

- Існує відображення, що конвертує X та Y за умови, якщо для будь-якого значення $x \in X$ існує значення $y \in Y$ таке, що по атрибутах x та y об'єкти будуть співпадати. Тобто, існує відображення $F: X \rightarrow Y$ таке, що для всіх $x \in X$ виконується рівність

$$P(x, F(x)) = 1, Dic_{X \neq Y}. \quad (6)$$

• Існує узагальнююче відображення з X в Y (Y — узагальнення X) за умови, якщо для будь-якого значення $x \in X$ існує рівно одне значення $y \in Y$ таке, що по атрибутах x та y об'єкти будуть співпадати. Тобто, існує відображення $F: X \rightarrow Y$ таке, що для всіх $x \in X$ виконується умова (2.5) і нерівність

$$P(x, y) < 1, Dic_X, Dic_Y \text{ для всіх } y \neq F(x). \quad (7)$$

• Існує узагальнююче відображення X на Y (X — деталізація Y) за умови, якщо для будь-якого значення $x \in X$ існує лише одне значення $y \in Y$, і для будь-якого y існує хоча б одне значення x таке, що по атрибутах x і y об'єкти будуть співпадати. Тобто, існує відображення $F: X \rightarrow Y$ таке, що для всіх $y \in Y$ існує $x \in X$, такий що $F(x) = y$; і для всіх $x \in X$ виконуються умови (8) і (9).

• Ізоморфізм доменів існує за умови, якщо є відображення $F: X \rightarrow Y$, що задовольняє умовам (8) і (9), і зворотне до нього $F^{-1}: Y \rightarrow X$, також задовольняючим умовам (6) і (7).

Будемо вважати, що об'єкт, заданий кортежем $a = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ в одній схемі даних, співпадає з об'єктом, заданим кортежем $b = \{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ в іншій схемі даних, якщо вони співпадають за всіма взаємозалежними атрибутами, тобто для всіх функцій взаємозв'язку відношень $P_{ij}: X_i \times Y_j \rightarrow \{0, 1\}$ має місце рівність $P_{ij}(x_i, y_j) = 1$. Множину пар індексів (i, j) , для яких задані функції P_{ij} , позначимо $\Omega = \{(i, j)\}$, $i = Num(x)$, $j = Num(y)$, $x, y \in Dic$. Тоді можна задати функцію відповідності об'єктів $P: A \times B \rightarrow \{0, 1\}$ таким чином:

$$P(a, b) = 1, \text{ якщо } P_{ij}(x_i, y_j) = 1 \text{ для всіх } (i, j) \in \Omega; \quad (8)$$

$$P(a, b) = 0, \text{ якщо існує } (i, j) \in \Omega \text{ такі, що } P_{ij}(x_i, y_j) \neq 1. \quad (9)$$

Перейдемо до класифікації взаємозв'язків між схемами даних.

1. Відповідність об'єктів. Якщо Ω не порожня, і задана функція $P: A \times B \rightarrow \{0, 1\}$, будемо говорити, що встановлено відповідність об'єктів. Нехай X_1 і Y_1 є первинними ключами відношень A і B . Тоді, якщо вибрати всі пари $\{x_1, y_1\}$, для яких $P(a, b) = P(\{x_1, x_2, \dots, x_n\}, \{y_1, y_2, \dots, y_m\}) = 1$, одержимо таблицю відповідності Dic із заголовком $\{\langle x_1 : X_1 \rangle, \langle y_1 : Y_1 \rangle\}$. Маючи таку таблицю, можна робити запити, що отримують дані з обох схем таким чином:

```
Select x1, x2, ..., xn, y1, y2, ..., ym
From A, B, Dic
Where Dic.X1 = A.X1 and Dic.Y1 = B.Y1
```

2. За кортежем a із відношення A можна швидко знайти у відношенні B кортеж b такий, що $P(a, b) = 1$, не створюючи й не використовуючи таблицю відповідності.

3. За кортежем з A можна однозначно визначити кортеж у B .

4. Відношення A і B синхронізовані. Якщо за кортежем з A можна однозначно визначити кортеж у B і за кортежем із B можна однозначно визначити кортеж в A , будемо говорити, що відношення A і B синхронізовані. Зміст цієї умови полягає в тому, що якщо перенести деякий кортеж a із A в B , а потім назад, то гарантовано не буде створено нового запису, що дублює a .

Отже, результатом роботи агента є встановлення взаємозв'язку між схемами даних.

Продемонструємо результат роботи агента. Користувач відсилає запит такої структури:

Вибрати тури, де рейс = «Пам'ятник Шевченка»

У словнику даних властивість «рейс» описана як `race_id`.

Таблиця. Словник Dis

Код	Властивість	Назва
1	рейс	<code>race_id</code>
2	тур	<code>tour_id</code>

Нехай є такі дві бази даних туристичних організацій (рис. 2, 3) та веб-сайт турагентства (рис. 4). Завданням агента є визначення туристичної фірми, що надає рейси, в які входить відвідування пам'ятника Шевченку.

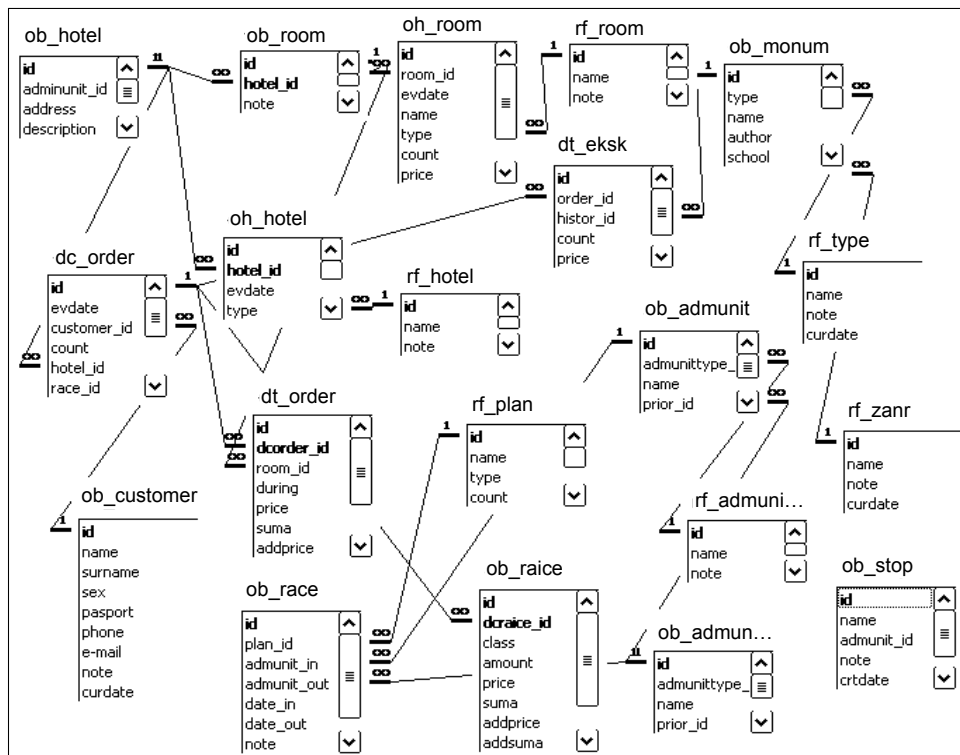


Рис. 2. Схема бази даних туристичного агентства 1

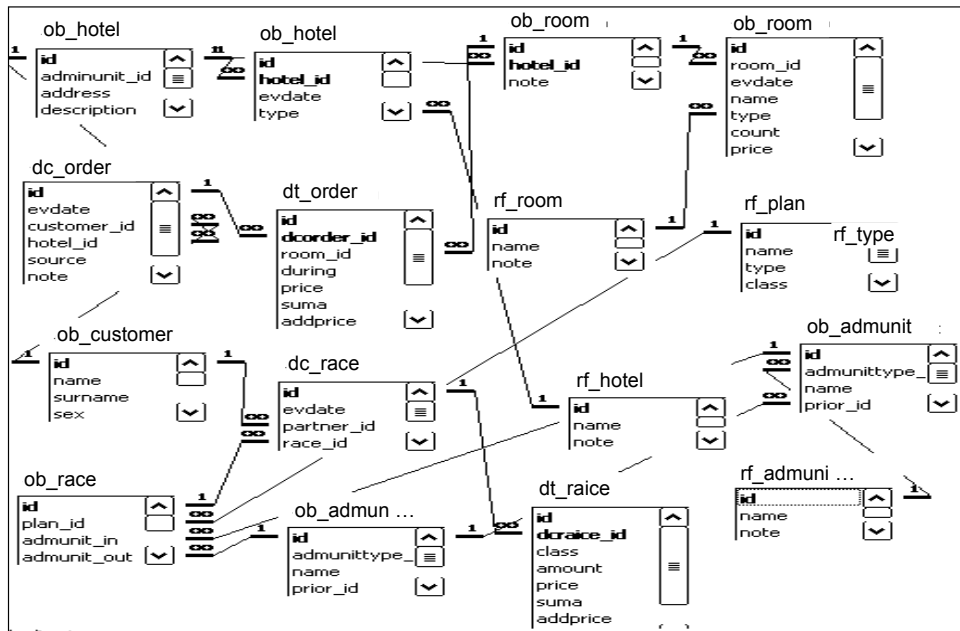


Рис. 3. Схема бази даних туристичного агентства 2

```

<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<xsd:schema xmlns:xsd="http://www.w3.org/2001/XMLSchema"
xmlns:od="urn:schemas-microsoft-com:officedata">
<xsd:element name="dataroot">
<xsd:complexType>
.....
</xsd:complexType>
</xsd:element>
<xsd:element name="dc_order">
<xsd:annotation>
<xsd:appinfo>
<od:index index-name="PrimaryKey" index-key="id " primary="yes"
unique="yes" clustered="no"/>
<od:index index-name="customer_id" index-key="customer_id " primary="no"
unique="no" clustered="no"/>
<od:index index-name="race_id" index-key="race_id " primary="no" unique="no"
clustered="no"/>
<od:index index-name="ob_hotel_dc_order" index-key="hotel_id " primary="no"
unique="no" clustered="no"/>
.....
</xsd:complexType>
</xsd:element>
</xsd:schema>

```

Рис. 4. XML-файли туристичного агентства 3

Перш за все, агент визначає, чи є вказаний атрибут (рейс) у перерахованих у каталозі джерел простору даних та в якому відношенні. Визначено, що такий атрибут існує в першій із наведених баз даних у відношенні

dc_race. Далі здійснюється порівняння схеми цієї бази даних із наступною реляційною базою даних та xml-файлом.

Результат порівняння вказаних джерел подано на рис. 5. Тут показано таблиці, які відсутні у джерелах даних, а також відмінності у таблицях із однаковими назвами.

Таблиці, яких нема в жодній із баз				
dc_race				нема у першій базі
dt_eksk				нема у другій базі
ob_monum				нема у другій базі
ob_stop				нема у другій базі
oh_race				нема у другій базі
rf_type				нема у другій базі
rf_zanr				нема у другій базі

Поля, яких нема в жодній із баз				
dc_order	count			відсутнє у другій базі
dc_order	race_id			відсутнє у другій базі
dc_order	realiz			відсутнє у другій базі
dc_order	recr_name			відсутнє у другій базі
dc_order	type_recr			відсутнє у другій базі
rf_plan	count			відсутнє у другій базі

Таблиця	Поле	База	Властивості	
dt_raice			Тип поля	Джерело стрічок
	class	1	nvarchar (50)	«віп»; «стандарт»
		2	nvarchar (30)	«віп»; «стандарт»; «євро»

Рис. 5. Результат роботи оператора

Встановлено відношення з однаковою схемою та з однаковим характером наповнення: dc_race у першій базі даних та dc_order у другій. Встановлено атрибути-синоніми: race_id та dcrace_id. Хоча у xml-файлі описано відношення з атрибутом race_id, то встановлено, що вміст цього відношення не відповідає вмісту аналогічного у першій базі даних.

Інтеграція даних — це об'єднання даних, які знаходяться у різних системах (Базах даних). Існують такі методи інтеграції [4, 5]:

- консолідація даних — це збір даних із територіально віддалених або різноплатформенних джерел DB_i даних в єдине сховище даних DW з метою їх подальшого опрацювання та аналізу:

$$DW.rel = DB_1.r \cup \dots \cup DB_n.r \xrightarrow{\text{consolid}} S_{DS}; \quad (10)$$

- операція федералізації даних полягає у витяганні даних з первинних систем на підставі зовнішніх вимог. Усі необхідні перетворення даних здійснюються при їх витяганні з первинних файлів.

$$S_{DS} : S_{DS} : \sigma_{fed} rm = DB_1.r(DB_1.r) \cup \dots \cup \sigma_{fed} rm = DB_n.r(DB_n.r). \quad (11)$$

Агрегація даних — це обчислення узагальнених значень на основі даних відношень вимірів для підтримки стратегічного або тактичного керування з детальних даних:

$$rel = Ag(DB_1.r, \dots, DB_n.r).$$

Запит про довільні дані Se_{simple} — у користувачів має бути можливість запиту будь-якого елемента даних, незалежно від його формату та моделі даних. Здійснюється на основі ключових слів key_word та каталогу IP Cg :

$$Se_{simple} : \sigma_{key_word}(Cg). \quad (12)$$

Приклад запиту: вибрати інформацію про журнали, у назві яких є слово «Системні». Інформація зберігається у напівструктурованому вигляді.

Структуровані запити будуються з використанням SQL та подібних мов. За допомогою каталогу визначається, чи містить джерело, у якому здійснюватиметься пошук, структуровану інформацію. Якщо це так, то виконується запит безпосередньо до джерела даних. В іншому випадку запит продовжується виконуватись по каталогу даних у вигляді пошуку ключових слів:

$$Se_{structured} : \sigma_{key_word}(Cg), \sigma(Source). \quad (13)$$

Приклад запиту: `Select * from tour where race_id = «Пам'ятник Шевченку»`. Перш за все, агент визначає джерела, де зберігається інформація про рейс, співставляє їх, а потім вибираються ті, де за характеристикою рейсу є Пам'ятник Шевченку.

Запити до метаданих мають забезпечувати можливості:

- отримання даних про джерело відповіді та місцезнаходження джерела;
- визначення елементів даних у просторі даних, що можуть залежати від заданого елемента даних, і підтримка гіпотетичних запитів;
- визначення рівня невірогідності відповіді.

$$Se_{meta} : \sigma_{user_param}(Cg), \quad (14)$$

де $user_param$ — множина параметрів користувача (вимог до запиту), його профілю або вимог, які ставляться до рішення.

Приклад запиту: знайти розміщення всіх джерел, які мають більше, ніж три спільних відношення.

Бінарні операції. Простори даних можуть вкладатися одне в одне (наприклад, простір даних району вкладається в простір даних області), і вони можуть перекриватися (наприклад, простір даних у сфері туризму перекривається з просторами даних оздоровчо-лікувальної, історичної сфери та сфери управління природними ресурсами).

Бінарними операціями над множинами IP є операція об'єднання ПД та операція перетину ПД: $O_{Pb} = \{\cup, \cap\}$.

Уведемо бінарну операцію об'єднання просторів даних:

$$DS_1 \cup DS_2 = \langle DB_1 \cup DB_2, DW_1 \cup DW_2, Wb_1 \cup Wb_2, Nd_1 \cup Nd_2, \dots \rangle$$

$$\begin{aligned}
 &Cr_1 \cup Cr_2, ODW_1 \cup ODW_2 > \\
 &Cg = profile(Agent(Cg_1) \cup Agent(Cg_2)), \\
 &Int = Int_1 = Int_2, \\
 &Se = Se_1 = Se_2, \\
 &EM = EM_1 = EM_2.
 \end{aligned}$$

Уведемо операцію перетину просторів даних:

$$\begin{aligned}
 &DS_1 \cap DS_2 = < DB_1 \cap DB_2, DW_1 \cap DW_2, Wb_1 \cap Wb_2, Nd_1 \cap Nd_2, \\
 &Cr_1 \cap Cr_2, ODW_1 \cap ODW_2, > \\
 &Cg = Cg_1 \cap Cg_2, \\
 &Wo = Wo_1 \cap Wo_2, \\
 &Int = Int_1 \cap Int_2, \\
 &Se = Se_1 \cap Se_2, \\
 &EM = EM_1 = EM_2.
 \end{aligned}$$

Предикати на інформаційних ресурсах

Предикати на інформаційних ресурсах — реєстр ресурсів, що містить найбільш базову інформацію про кожного з них: джерело, ім'я, місцезнаходження в джерелі, розмір, дату створення і власника та ін., а також результат порівняння подібності структур даних один із одним.

Для організації робіт із розрізненими джерелами використовують словник термінів та понять (ключових слів) *Dic*, який містить синонімічний опис одного і того ж концепту в різних джерелах даних. Заповнення словника даних на початку здійснюється за допомогою розробленої онтології предметної області, пізніше — автоматизовано: $Metadata(DS) \cup Dic \Rightarrow ODW$.

Зміна стану простору даних полягає не тільки у зміні наповнення інформаційних ресурсів, але й зміні стану інформації про них. Наприклад, якщо за допомогою агента визначення структури джерела ми визначаємо схему даних певної бази даних, то тим самим ми зберігаємо інформацію у реєстрі ресурсів, змінивши його стан.

Виділимо предикати алгебраїчної системи класу «простір даних».

Нульарний предикат Ω_{F_0} : повертає TRUE, якщо для заданого інформаційного ресурсу *Ir* відомого його структури даних, та FALSE у іншому випадку.

Предикат порівняння структур даних інформаційних ресурсів $\Omega_{eq}(Ir_1, Ir_2) \rightarrow Dic$.

Формування алгебраїчних виразів

Алгебраїчні вирази формуватимуть користувачі ПД для аналізу інформації, що зберігається у різних джерелах, виходячи з їхнього профілю. Вони зада-

ватимуть необхідні їм операції з множини \wp над елементами множини DS . Оскільки профіль визначає перелік джерел, до яких користувач має доступ, та операції над ними, то це дозволить уникнути проблеми ведення додаткової раціоналізації виразів в умовах певної розмитості у визначенні операцій.

ВИСНОВКИ

Розроблено алгебраїчну систему класу «простір даних», яка складається з множини інформаційних продуктів, предикатів та операцій на них. Це дозволило розробити операції консолідації та пошуку даних із різнотипних джерел, структура даних яких наперед невідома. Розроблено інтелектуальний агент визначення структури джерела даних шляхом порівняння структур джерел даних, наявних у ПД, із структурами джерел даних, які входять в ПД, що дозволило сформувавши єдиний тип запитів до джерел даних.

Новизна роботи полягає в поданні простору даних як алгебраїчної системи. Уведено операції над просторами даних.

Практична цінність полягає у визначенні основних задач і компонент простору даних та зв'язки між ними.

Подальші дослідження стосуватимуться формалізації методів пошуку неструктурованих, напівструктурованих та суворо структурованих даних.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мальцев А.И. Алгебраические системы. — М.: Наука, 1970. — 392 с.
2. Аграновский А.В., Арутюнян Р.Э. Индексация массивов документов. — http://www.scandocs.ru/page.jsp?pk=node_1185787748359.
3. Su Q., Widom J. Indexing Relational Database Content Offline for Efficient Keyword-Based Search. Proceedings of the Ninth International Database Engineering and Applications Symposium (IDEAS), 25–27 July. — Canada, Montreal. — 2005. — P. 297–306.
4. Шаховська Н.Б. Простори даних: поняття та призначення // Матеріали конф. CSIT-2007. — Львів. — 2007. — С. 269–277.
5. Шаховська Н.Б. Простір даних області наукових досліджень // Моделювання та інформаційні технології. — 2009. — № 45. — С.132–140.
6. Чернов А.А. Становление глобального информационного общества: проблемы и перспективы: монография. — М.: «Дашков и К», 2003. — 232 с.

Надійшла 25.03.2009

**КРУГЛЫЙ СТОЛ ПО ОБСУЖДЕНИЮ КОНЦЕПЦИИ
МЕЖДУНАРОДНОЙ
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ПРОГРАММЫ
«СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВ
СКООРДИНИРОВАННОГО СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО
РАЗВИТИЯ РОССИИ И УКРАИНЫ»**

г. Киев, 14–15 апреля 2011 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В Учебно-научном комплексе «Институте прикладного системного анализа» (УНК «ИПСА») Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт» (НТУУ «КПИ») Министерства образования и науки, молодежи и спорта (МОН) Украины и Национальной академии наук Украины (НАНУ) по инициативе Комитетов по системному анализу Российской академии наук (РАН) и Национальной академии наук Украины и при поддержке Международного института прикладного системного анализа (МИПСА) состоялся круглый стол по обсуждению путей гармонизации социально-экономического развития России и Украины в евроазиатском и глобальном контекстах.

Организаторами круглого стола выступили: Комитеты по системному анализу РАН и НАНУ, Институт научной информации по общественным наукам (ИНИОН) РАН, НТУУ «КПИ» и УНК «ИПСА» МОН и НАН Украины.

В совещании приняли участие представители Министерств иностранных дел России и Украины, Посольства Российской Федерации на Украине, Верховного Совета Украины, Государственного агентства по вопросам науки, инноваций и информации Украины, Аналитического центра при Правительстве Российской Федерации, институтов Российской академии наук и Национальной академии наук Украины, Государственного фонда фундаментальных исследований Украины, Комитетов по системному анализу РАН и НАНУ, Мирового центра данных по геоинформатике и устойчивому развитию, а также других научных организаций и высших учебных заведений России и Украины.

Руководствуясь пониманием исключительной важности усовершенствования социально-экономических отношений на российско-украинском пространстве;

- учитывая исключительную сложность современного меняющегося мира, переживающего период глобализации и поиска нового баланса сил;

- понимая, что совместные усилия России и Украины смогут внести существенный вклад в обеспечение устойчивого социально-экономического развития на межнациональном, региональном и глобальном уровнях;

- исходя из того, что исследование перспектив такого развития и выработка соответствующих научно обоснованных решений потребует масштабного привлечения методов современного системного анализа и комплексного моделирования,

участники круглого стола пришли к согласованному заключению о:

- необходимости создания международной научно-исследовательской программы по изучению перспектив стратегического международного партнерства России и Украины как участников глобального процесса социально-экономического развития;

- важности разработки, в рамках программы, как новых моделей взаимодействия двух стран, так и современного системно-аналитического инструментария для генерирования и оценки сценариев их социально-экономического развития;

- необходимости привлечения к выполнению программы высококвалифицированных ученых из России и Украины, представителей органов власти, общественности и делового мира двух стран;

- целесообразности привлечения для координирования программы МИПСА — независимого международного научного центра, обладающего уникальной компетенцией в области системного анализа и комплексного моделирования.

Рабочее название программы — «Системный анализ перспектив скоординированного социально-экономического развития России и Украины».

Оргкомитет круглого стола

УДК 62-50

Координирующее управление многомерным объектом с разнотемповой дискретизацией в стохастической среде / Романенко В.Д., Мильявский Ю.Л. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2011. — № 2. — С. 7–20.

Поставлена и выполнена задача оптимального управления соотношениями между выходными координатами многомерного разнотемпового объекта в стохастической среде. Рассмотрены основные схемы построения системы управления, критерии оптимальности для таких систем, а также разработан алгоритм цифрового управления на основе приведения задачи многокритериальной безусловной оптимизации к однокритериальной условной оптимизации. Приведены результаты численного моделирования, подтверждающие практическую ценность данной разработки. Рис.: 9. Библиогр.: 8 назв.

UDC 62-50

Multivariate object coordinating control with multirate sampling in stochastic environment / Romanenko V.D., Milyavsky Y.L. // System Research and Information Technologies. — 2011. — № 2. — P. 7–20.

The problem of the optimal control of the correlations between the output coordinates of multidimensional multirate object in a stochastic environment is formulated and implemented. The main schemes of the control systems organization, optimization criteria for such systems are considered. Also the algorithm of digital control is developed on the basis of the problem of multicriteria absolute optimization. The results of numerical simulations, which confirm the practical value of this development, are presented. Figs: 9. Refs: 8 titles.

УДК 007:681.3.06

Підвищення ефективності оцінювання параметрів розподілу в умовах обмеженої експериментальної інформації / Редько Є.В., Подладчикова Т.В., Подладчиков В.М. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2011. — № 2. — С. 21–27.

Для дослідження статистичних властивостей оцінок в умовах обмеженої експериментальної інформації в роботі пропонується поєднати обробку експериментальних даних із процедурою імітаційного моделювання, що імітує продовження експерименту в тих самих умовах. Запропонована методика використовується для підвищення ефективності процедури оцінювання показника степеня закону розподілу енергії сонячних спалахів. Рис.: 4. Бібліогр.: 5 назв.

UDC 007:681.3.06

Increasing of estimation efficiency for parameters of distribution of limited experimental data / Redko I.V., Podladchikova T.V., Podladchikov V.N. // System Research and Information Technologies. — 2011. — № 2. — P. 21–27.

To study the statistical properties of estimates under conditions of limited experimental data it is proposed in the work to combine the experimental data processing with the procedure of simulation modeling, which simulates the continuing of the experimentation under the same conditions. The proposed methodology is used to increase the efficiency the estimation of exponent of the solar flares distribution law. Figs: 4. Refs: 5 titles.

УДК 004.032.26:004.8

Інваріантність по скалярному критерію розпізнавання образів / Четирбок П.В. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2011. — № 2. — С. 28–34.

Побудовано ізоморфне відображення множини розпізнавальних образів на множину дійсних чисел з інтервалу $[0,1]$, яке дозволяє поєднати класифікацію розпізнавальних образів із поведінкою скалярного критерію в просторі помилок. Запропонований в статті функціонал і вирішальне правило (скалярний критерій для розпізнавання образів) дозволяють створити модель нейронної мережі інваріантної до трансформації образів, які розпізнаються. Табл.: 1. Бібліогр.: 5 назв.

UDC 004.032.26:004.8

Invariance by scalar criterion of images recognition / Chetyrbok P.V. // System Research and Information Technologies. — 2011. — № 2. — P. 28–34.

An isomorphic mapping of the set of distinctive images to a set of real numbers from the interval $[0,1]$ is built, that allows to combine classification of distinctive images with the behavior of scalar criterion in the space of errors. The proposed in the article functional and decision rule (scalar criterion for images recognition) allow to create a model of neuron network invariant to the transformation of images, which are recognised. Tabl.: 1. Refs: 5 titles.

УДК 621.391.512

Використання апарату ідемпотентних алгебр для аналізу процесів в мережі з наданням інтегрованих послуг / Бессараб В.І., Зайцева Е.Є., Коваленко Є.Г. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2011. — № 2. — С. 35–40.

Показано застосування рівнянь «min-plus» алгебри для аналізу мережі з наданням інтегрованих послуг. Розглянуто роботу протоколу RSVP. Показано можливість керування ресурсами мережі в залежності від вимог до затримки за типом трафіку. Запропоновано варіант розрахунку маршруту передачі з урахуванням обмежень на затримку. Рис.: 5. Бібліогр.: 4 назв.

UDC 621.391.512

Usage of the apparatus of idempotent algebra for the analysis of the processes in network with the provision of integrated services / Bessarab V.I., Zaytseva E.Ye., Kovalenko E.G. // System Research and Information Technologies. — 2011. — № 2. — P. 35–40.

The implementation of algebra is equations «min-plus» for network analysis with the provision of integrated services is show. The protocol is operation RSVP is considered. The possibility of network resources control depending on the requirements for the delays by traffic type, is shown. The variant of the transmission rout calculation is proposed, taking into account restrictions for the delay. Figs: 5. Refs: 4 titles.

УДК 658.012.56

Метод количественного оценивание ответов в системах тестирования знаний открытого типа / Замаруева И.В., Бадерина Л.Н. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2011. — № 2. — С. 41–46.

Рассмотрен метод оценки знаний обучающихся с помощью сравнительного анализа текстового ответа с заданным эталонным текстом и определением их релевантности, приведены практические расчеты. Особое внимание уделено исследованию лингвистической модели представления знаний на основе синонимии терминов предметной области. Библиогр.: 4 назв.

UDC 658.012.56

Method of quantative answers assessment in the knowledge testing system of open type / Zamarueva I.V., Badorina L.M. // System Research and Information Technologies. — 2011. — № 2. — P. 41–46.

Method of students knowledge assessment is considered with the help of comparative analysis of textual answer with a given standard text and determination of their relevance. There are given practical settlements. Particular attention is given to the research of the linguistic model of knowledge representation on the basis of term synonymy with subject area. Refs: 4 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 519.24

Кількісні методи обробки поглядів експертів під час оцінки якості та перспективності поданих для фінансування інноваційних проектів / Зак Ю.О. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2011. — № 2. — С. 47–61.

Запропоновано методикау отримання комплексної кількісної оцінки ефективності поданих на експертизу проектів на основі обробки поглядів групи незалежних експертів та побудови ранжированих рядів на основі запропонованих в роботі комплексних критеріїв ефективності. В якості важливих показників результатів експертизи враховується неузгодженість поглядів окремих експертів. Сформульовано обмеження, що дозволяють виключити із подальшого розгляду проекти, які не відповідають заданим вимогам. Запропоновано моделі нелінійного булевого програмування з метою підбору найбільш компетентної групи експертів для кожного конкретного проекту. Рис.: 1. Бібліогр.: 6 назв.

UDC 519.24

Quantitative methods of the expert views processing, while assessing the quality and availability submitted for financing innovative projects / Zak Yu.O. // System Research and Information Technologies. — 2011. — № 2. — P. 47–61.

The methodology of obtaining the complex quantitative assessment of the efficiency of the submitted for the examination projects, based on processing the views of independent expert group and building the ranking series on the basis of proposed complex criteria of efficiency is proposed. Inconsistent views of individual experts are considered as important indicators of examination results. Restrictions, which allow to exclude the projects, that do not meet the specified requirements from the further consideration, are formulated. The models of nonlinear boolean programming are proposed in order to recruit the most competent group of experts for each projects. Figs: 1. Refs: 6 titles.

УДК 519.81

Реалізація прийнятих рішень / Крюковський В.В., Ходаков Д.В. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2011. — № 2. — С. 62–75.

Детально проаналізовано процеси реалізації прийнятих рішень щодо підприємства. Розроблено математичні моделі реалізації прийнятих рішень управління. Процеси підготовки, прийняття і реалізації прийнятих рішень органічно об'єднані в єдиний процес, який забезпечує одну цільову функцію — вирішення проблеми оптимального управління системою (об'єктом управління), що ліквідує розрив між підготовкою, прийняттям рішень та їх реалізацією, який існував раніше. Рис.: 8. Табл.: 1. Бібліогр.: 7 назв.

UDC 519.81

Implementation of decisions / Kriuchkovsky V.V., Khodakov D.V. // System Research and Information Technologies. — 2011. — № 2. — P. 62–75.

Processes of decisions implementation concerning enterprise, are analysed in detail. Mathematical control models of decision implementation are developed. The processes of preparation, making and implementation the decisions are combined in a single process,

which provides one target function — solution of the optimal system control problem (object of management) which eliminates the gap, which exists earlier, between preparation, making the decisions and their implementation. Figs: 8. Tabl.: 1. Refs: 7 titles.

УДК 519.86

О выборе стратегии налогообложения в экономической системе при наличии монополистов / Махорт А.Ф. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2011. — № 2. — С. 76–87.

Исследованы условия равновесия экономической системы, подверженной дестабилизирующему влиянию монополизма и потенциального появления инфляции. Описано состояние равновесия, в котором действие дестабилизирующих факторов компенсировано. Определена стратегия налогообложения, обеспечивающая реализацию именно этого состояния равновесия экономической системы. Библиогр.: 5 назв.

UDC 519.86

On the choice of the taxation policy in the economic system if monopolists exist / Makhort A.P. // System Research and Information Technologies. — 2011. — № 2. — P. 76–87.

The conditions of equilibrium of economic system exposed to destabilizing influence of monopolism and the potential emergence of the inflation are investigated. A state of equilibrium, where the effect of destabilizing is compensated is described. A policy of taxation, which provides the implementation of this particular state of equilibrium of the economic system, is determined. Refs: 5 titles.

ПРОБЛЕМНО І ФУНКЦІОНАЛЬНО ОРІЄНТОВАНИ
КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ

PROBLEM- AND FUNCTION-ORIENTED
COMPUTER SYSTEMS AND NETWORKS

УДК 574.4:633.2.033

Оценка устойчивости экосистем на основе анализа ролевой трофической сети / Руденко С.С., Буждиган О.Я. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2011. — № 2. — С. 88–97.

Приведено теоретическое обоснование и разные подходы к определению устойчивости экологических систем. Предложена инновационная технология определения разных типов устойчивости (резистентной и упругой) пасторальных экосистем по оценочным показателям ролевых трофических сетей. На основе комплекса разработанных показателей трофических сетей осуществлена оценка состояния 31-ой пасторальной экосистемы Черновицкой области. Табл.: 5. Библиогр.: 20 назв.

UDC 574.4:633.2.033

Assessment of the ecosystems sustainability based on the role food web analysis / Rudenko S.S., Bujdigian O.Ya. // System Research and Information Technologies. — 2011. — № 2. — P. 88–97.

The theoretical ground and different approaches to the determination and estimation of the sustainability of ecological systems are presented. Innovativ technology of the determination of sustainability of different types (resistant and resilient) of pastoral ecosystems by the estimated figures of role food webs. On the base of the complex of the developed figures of role food, webs the state of 31 pastoral ecosystems in Chernivtsy Region is estimated. Tabl.: 5. Refs: 20 titles.

УДК 004.681

Оптимизационные экономические задачи в системах защиты информации / Левченко Е.Г., Прус Р.Б. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2011. — № 2. — С. 98–103.

Разработана математическая модель и методика определения оптимального распределения ресурсов между объектами защиты информации. Сформулирована целевая функция, на основе которой проведено иллюстративные расчеты в системе из двух информационных объектов. Очерчены направления развития предложенной методики. Рис.: 4. Библиогр.: 7 назв.

UDC 004.681

Economic optimization problems in data security systems / Levchenko E.G., Prus R.B. // System Research and Information Technologies. — 2011. — № 2. — P. 98–103.

The mathematical model and method of determination of the optimal distribution of the resources between the objects of data security are developed. A criterion function on the basis of which the illustrative calculations in a system of two information objects were done, is formulated. The directions of the proposed method development are outlined Figs: 4. Refs: 7 titles.

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ, ПРОБЛЕМИ І
ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНИХ
СИСТЕМ

MATHEMATICAL METHODS, MODELS,
PROBLEMS AND TECHNOLOGIES FOR
COMPLEX SYSTEMS RESEARCH

УДК 681.3.06

Алгебраическая характеристика класса графовых преобразователей / Редько И.В., Снигур Н.Н. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2011. — № 2. — С. 104–114.

Изучены примитивные программные алгебры многоместных функций над множеством конечных графов. Дана алгебраическая характеристика класса графовых преобразователей. Изложенные результаты являются дополнением результатов, полученных ранее для векторных, матричных, реляционных и табличных функций. Библиогр.: 22 назв.

UDC 681.3.06

Algebraic characteristic of the graph modifiers class / Redko I.V., Snigur N.N. // System Research and Information Technologies. — 2011. — № 2. — P. 104–114.

Primitive program algebras of multiplace functions at a set of finite graphs were studied. An algebraic characteristic of the graph modifier class is given. The presented results are additional for the results previously obtained for vector, matrix, relational and table functions. Refs: 22 titles.

УДК 612.84: 801.56

Сохранение целостности отображаемого на пути вербализации отдельного фрагмента действительности / Кисленко Ю.И. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2011. — № 2. — С. 115–127.

Проанализирована цепочка преобразования «действительность–текст» как нарушения целостности отображаемого фрагмента действительности на пути трансляции этой информации с образного на языковой уровень. Рассмотрен структурно-функциональный уровень нейроорганизации зрительного тракта, обеспечивающий адекватное восприятие внешнего мира (триединого во времени, пространстве и движении), путем выделения отдельных ситуации, дифференциации их по

статическим/динамическим признакам и с однозначной идентификацией их составляющих. Проанализированы языковые средства и их организация для адекватного отображения отдельного фрагмента. Рис.: 2. Табл.: 1. Библиогр.: 10 назв.

UDC 612.84: 801.56

Preservation of the integrity of the displayed on the way of verbalization separate fragment of reality / Kislenko Yu.I. // System Research and Information Technologies. — 2011. — № 2. — P. 115–127.

The chaine of transformation «reality–text» is analysed as an unviolation of the integrity of the displayed fragment of reality on the way of translation of this information from the graphic to linguistic level. The structural-functional level of neuron organization of visual track, which provides adequate perception of the environment (triune in time, space and action) is considered by force of a selection of separate situations, differentiation them by statistical or dynamical features with the unique identification of their components. Linguistic means and their organization are analysed in order to adequately display a separate fragment of reality. Figs: 2. Tabl.: 1. Refs: 10 titles.

НОВІ МЕТОДИ В СИСТЕМНОМУ АНАЛІЗІ,
ІНФОРМАТИЦІ ТА ТЕОРІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

NEW METHODS IN SYSTEM ANALYSIS, COMPUTER
SCIENCE AND THEORY OF DECISION MAKING

УДК 51.001.57+004.652.4+004.827

Формальное представление пространства данных в виде алгебраической системы / Шаховская Н.Б. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2011. — № 2. — С. 128–140.

Проанализированы проблемы обработки данных с различных источников. Построена формальная модель пространства данных и введены операции над ним. Показано, что алгебраические системы базы данных и хранилища данных являются подклассами алгебраической системы класса «пространство данных». Обозначены особенности интеграции данных с разных источников. Разработано схему интеграции данных и средств обмена данными. Рис.: 5. Табл.: 1. Библиогр.: 6 назв.

UDC 51.001.57+004.652.4+004.827

A formal representation of the data space in the form of algebraic system / Shakhovska N.B. // System Research and Information Technologies. — 2011. — № 2. — P. 128–140.

Problems of data processing from the different sources are analyzed. The formal model of date space and operations on it are described. It is shown that algebraic systems of data space and data warehouses are subclasses of algebraic system of «data space» class. The features of data integration from different sources are determined. The scheme of data integration and means of data exchange is developed. Figs: 5. Tabl.: 1. Refs: 6 titles.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Бадьорина Любов Миколаївна,

кандидат технічних наук, докторант Національного авіаційного університету, Україна, Київ

Бессараб Володимир Іванович,

кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри автоматичної та телекомунікацій Донецького національного технічного університету, Україна, Донецьк

Буждиган Оксана Ярославівна,

кандидат біологічних наук, асистент кафедри екології та біомоніторингу Чернівецького національного університету ім. Юрія Федьковича, Україна, Чернівці

Зайцева Еліна Євгенівна,

асистент кафедри автоматичної та телекомунікацій Донецького національного технічного університету, Україна, Донецьк

Зак Юрій Олександрович,

доктор технічних наук, науковий співробітник Європейського центру з мехатроніки, Німеччина, Аахен

Замаруєва Ірина Вікторівна,

доктор технічних наук, професор кафедри інформаційного протиборства Військового інституту Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, Україна, Київ

Кисленко Юрій Іванович,

кандидат технічних наук, доцент кафедри технічної кібернетики факультету інформатики та обчислювальної техніки Національного технічного університету України «КПІ», Київ

Коваленко Євгенія Геннадіївна,

аспірант кафедри автоматичної та телекомунікацій Донецького національного технічного університету, Україна, Донецьк

Крючковський Віктор Володимирович,

професор, кандидат фізико-математичних наук, професор кафедри прикладної математики і математичного моделювання Національного технічного університету, Україна, Херсон

Левченко Євген Григорович,

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри засобів захисту інформації Національного авіаційного університету, Україна, Київ

Махорт Андрій Пилипович,

кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник відділу математичного моделювання Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Київ

Мілявський Юрій Леонідович,

аспірант Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

Подладчиков Володимир Миколайович,

професор, доктор технічних наук, професор кафедри математичних методів системного аналізу Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу»

Подладчикова Тетяна Володимирівна,

кандидат технічних наук, науковий співробітник Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

Прус Руслана Богданівна,

аспірант кафедри засобів захисту інформації Національного авіаційного університету, Україна, Київ

Редько Євген Вікторович,

студент кафедри математичних методів системного аналізу Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

Редько Ігор Володимирович,

доктор фізико-математичних наук, професор факультету електроніки Національного технічного університету України «КПІ», Київ

Романенко Віктор Демидович,

професор, доктор технічних наук, заступник директора з навчальної роботи Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

Руденко Світлана Степанівна,

професор, доктор біологічних наук, професор кафедри екології та біомоніторингу Чернівецького національного університету ім. Юрія Федьковича, Україна, Чернівці

Снігур Наталія Миколаївна,

аспірант факультету електроніки Національного технічного університету України «КПІ», Київ

Ходаков Данііл Вікторович,

доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри інформаційних технологій Національного технічного університету, Україна, Херсон

Четирбок Петро Васильович,

старший викладач Інституту економіки управління Республіканського вищого навчального закладу «Кримський гуманітарний університет», Україна, Ялта

Шаховська Наталя Богданівна,

доцент, кандидат технічних наук, декан базової вищої освіти Інституту комп'ютерних наук та інформаційних технологій Національного університету «Львівська політехніка», Україна, Львів