

СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

№ 2

2009

ЗАСНОВАНИЙ У ЛИПНІ 2001 Р.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор

М.З. ЗГУРОВСЬКИЙ, акад. НАН України

Заступник головного редактора

Н.Д. ПАНКРАТОВА, проф., д. т. н.

Члени редколегії:

П.І. АНДОН, чл.-кор. НАН України

А.В. АНІСІМОВ, проф., д. ф.-м. н.

В.Г. БОНДАРЕНКО, проф., д. ф.-м. н.

Ж. БОННІН, проф., Франція

Р. ВОРОНКА, проф., США

С.М. ГРІША, проф., д. т. н.

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

В.І. КОСТЮК, проф., д. т. н.

В.М. КУНЦЕВИЧ, акад. НАН України

Г.М. ЛУЦЬКИЙ, проф., д. т. н.

О.С. МАКАРЕНКО, проф., д. ф.-м. н.

О.А. МОЛЧАНОВ, проф., д. т. н.

В.В. ОСТАПЕНКО, проф., д. ф.-м. н.

О.А. ПАВЛОВ, проф., д. т. н.

В.Н. РЕДЬКО, акад. НАН України

Т.Л. СААТІ, проф., США

І.В. СЕРГІЄНКО, акад. НАН України

В.В. СКОПЕЦЬКИЙ, чл.-кор. НАН України

В.П. ТАРАСЕНКО, проф., д. т. н.

Я.С. ЯЦКІВ, акад. НАН України

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

03056, м. Київ,

пр. Перемоги, 37, корп. 35,

Навчально-науковий комплекс

«Інститут прикладного системного аналізу»

НТУУ «КПІ» МОН та НАН України

Тел.: 241-68-44, Факс: 241-68-44

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

http://journal.iasa.com.ua

У номері:

• **Теоретичні та прикладні проблеми і методи системного аналізу**

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

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

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

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

• **Евристичні методи та алгоритми в системному аналізі та управлінні**

• **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

2009

IT IS FOUNDED IN JULY, 2001

EDITORIAL BOARD:

The editor – in – chief

M.Z. ZGUROVSKY, Academician of
NASU

Deputy editor – in – chief

N.D. PANKRATOVA, Prof., Ukraine

Associate editors:

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

THE EDITION ADDRESS:

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

In the issue:

• **Theoretical and applied problems and methods of system analysis**

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

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

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

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

• **Heuristic methods and algorithms in system analysis and control**

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

Шановні читачі!

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

«СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ».

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

Провідні тематичні розділи журналу:

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

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

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

Статті публікуються українською, російською та англійською мовами.

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

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

Підписано до друку 19.06.2009. Формат 70x108/16.
Папір офс. Офс. друк. Ум. друк. арк. 14. Ціна договірна.
Свідоцтво про реєстрацію КВ № 13804–2778 ПР від 17.03.2008 р.

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

Dear Readers!

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

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

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

The main thematic sections of the Journal are the following:

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

The editor-in-chief of the Journal is Rector of the National Technical University of Ukraine «KPI», Director of the Educational-scientific complex «Institute for applied system analysis» at the National technical university of Ukraine «KPI» of MES and NAS of Ukraine, academician of the NASU Michael 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 (the 2003 subscription).

СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

2 • 2009

ЗМІСТ

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ І МЕТОДИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ	
<i>Згуровський М.З., Переверза К.В.</i> Методика побудови сценаріїв розвитку України з використанням SWOT-аналізу	7
<i>Zgurovsky M., Pasichny A.</i> Modelling of the civilizations' break lines in context of their fundamental cultural differences	18
ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ВИСОКОПРОДУКТИВНІ КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ	
<i>Zagorodny A., Zgurovsky M., Zinovjev G., Martynov E., Petrenko A.</i> Integrating Ukraine into European Grid infrastructure	35
ПРОБЛЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ І УПРАВЛІННЯ В ЕКОНОМІЧНИХ, ТЕХНІЧНИХ, ЕКОЛОГІЧНИХ І СОЦІАЛЬНИХ СИСТЕМАХ	
<i>Яковенко В.Д., Гогунський В.Д.</i> Прогнозування стану системи керування якістю діяльності навчального закладу	50
МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ, ОПТИМАЛЬНЕ УПРАВЛІННЯ І ТЕОРІЯ ІГОР	
<i>Песчанский А.И.</i> Техническое обслуживание монотонной системы с учетом суммарной наработки на отказ каждого ее элемента	58
МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ, ПРОБЛЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ	
<i>Ясінський В.В., Капустян О.В., Валеро Х.</i> Математична модель процесу формування та збереження колективних знань	67
<i>Коваленко И.И., Кудин О.А.</i> Моделирование модульных систем с применением дискретной теории паттернов	78
<i>Будаев П.В.</i> Практическое применение количественных методов прогнозирования	92
ЕВРИСТИЧНІ МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ В СИСТЕМНОМУ АНАЛІЗІ ТА УПРАВЛІННІ	
<i>Терентьев А.Н., Бидюк П.И., Коршевнюк Л.А.</i> Алгоритм вероятностного вывода в байесовских сетях	107
<i>Ильишченко М.Б.</i> Алгоритм нахождения наибольшего общего подграфа	112
НОВІ МЕТОДИ В СИСТЕМНОМУ АНАЛІЗІ, ІНФОРМАТИЦІ ТА ТЕОРІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	
<i>Zgurovsky A.</i> Research of globalization's interrupted character in context of social development and global security. PART 1. Analysis of pre-crisis period (up to second half of 2008)	121
<i>Haigh M.</i> Research versus practice in software engineering: comparison of expert opinions to measured user priorities	133
Реферати	143
Відомості про авторів	148

SYSTEM RESEARCH AND INFORMATION TECHNOLOGIES

2 • 2009

CONTENTS

THEORETICAL AND APPLIED PROBLEMS AND METHODS OF SYSTEM ANALYSIS	
<i>Zgurovsky M.Z., Pereverza K.V.</i> Methodology of scenarios construction for development of Ukraine using SWOT-analysis	7
<i>Zgurovsky M., Pasichny A.</i> Modelling of the civilizations' break lines in context of their fundamental cultural differences	18
PROGRESSIVE INFORMATION TECHNOLOGIES, HIGH-EFFICIENCY COMPUTER SYSTEMS	
<i>Zagorodny A., Zgurovsky M., Zinovjev G., Martynov E., Petrenko A.</i> Integrating Ukraine into European Grid infrastructure	35
DECISION MAKING AND CONTROL IN ECONOMIC, TECHNICAL, ECOLOGICAL AND SOCIAL SYSTEMS	
<i>Yakovenko V.D., Gogunsky V.D.</i> Prognosis of system status for quality management of educational institution activity	50
METHODS OF OPTIMIZATION, OPTIMUM CONTROL AND THEORY OF GAMES	
<i>Peschansky A.I.</i> Maintenance for monotonic system with allowance of the total failure time of each element	58
MATHEMATICAL METHODS, MODELS, PROBLEMS AND TECHNOLOGIES FOR COMPLEX SYSTEMS RESEARCH	
<i>Yasinsky V.V., Kapustian O.V., Valero J.</i> Mathematical model for process of forming and preserving of collective knowledge	67
<i>Kovalenko I.I., Kudin O.A.</i> Modeling of module systems using the discrete theory of patterns	78
<i>Budayev P.V.</i> Practical application of quantitative forecasting methods	92
HEURISTIC METHODS AND ALGORITHMS IN SYSTEM ANALYSIS AND CONTROL	
<i>Terentyev O.M., Bidiuk P.I., Korshevnyuk L.O.</i> Algorithm of probabilistic inference in Bayes networks	107
<i>Ilyashenko M.B.</i> Algorithm for finding maximal common subgraph	112
NEW METHODS IN SYSTEM ANALYSIS, COMPUTER SCIENCE AND THEORY OF DECISION MAKING	
<i>Zgurovsky A.</i> Research of globalization's interrupted character in context of social development and global security. PART 1. Analysis of pre-crisis period (up to second half of 2008)	121
<i>Haigh M.</i> Research versus practice in software engineering: comparison of expert opinions to measured user priorities.....	133
References	143
Information about the authors	148

УДК 517+351

**МЕТОДИКА ПОБУДОВИ СЦЕНАРІЇВ РОЗВИТКУ УКРАЇНИ З
ВИКОРИСТАННЯМ SWOT-АНАЛІЗУ**

М.З. ЗГУРОВСЬКИЙ, К.В. ПЕРЕВЕРЗА

Описано методику побудови сценаріїв розвитку України з використанням індексів та індикаторів сталого розвитку, SWOT-аналізу, експертних методів. Наведено сценарії на короткостроковий, середньостроковий та довгостроковий періоди часу.

На даному етапі свого розвитку людство стикається із все більшою кількістю проблем, породжених його ж діяльністю. Зміна клімату (підвищення температури на 3°C у порівнянні з доіндустріальним періодом), зростання чисельності населення на планеті, брак чистої питної води, виснаження природних ресурсів, нерівномірний розподіл доходів між регіонами і численні наслідки цих та інших чинників [2]. Всі вказані проблеми згубно впливають на розвиток людства і в недалекому майбутньому можуть поставити під сумнів можливість його подальшого існування. Тому потрібно терміново переглянути та змінити стратегію розвитку людства. Багато країн світу вже усвідомили це і прийняли нову концепцію — концепцію сталого розвитку. Згідно з нею майбутнім поколінням, які житимуть на планеті Земля, необхідні, як мінімум, не гірші умови для життя, ніж ті, що існують зараз. Для того щоб це стало можливим, нинішні покоління у всіх регіонах планети повинні працювати заради сталого характеру свого розвитку.

За концепцією сталого розвитку кожна країна має обрати стратегію, яка забезпечить гармонійний характер її розвитку, причому екологічні, економічні та соціальні аспекти розвиватимуться на рівних. Таким чином, задача побудови можливих сценаріїв розвитку і вибору оптимального з точки зору сталості стає актуальною для великої кількості країн світу.

Актуальність поставленого завдання зростає у зв'язку з необхідністю обрати стратегію, розробивши та проаналізувавши можливі сценарії розвитку для України.

**ОБГРУНТУВАННЯ СЦЕНАРНОГО ПІДХОДУ І МЕТОДУ SWOT-АНАЛІЗУ
ДЛЯ ПОБУДОВИ СЦЕНАРІЇВ**

За основу для розробки сценаріїв розвитку України обрано сценарний підхід, а для оцінки поточного стану держави застосовувався, зокрема, SWOT-

аналіз та експертні методи. Нижче приведемо обґрунтування вибору вказаних підходів.

Для того щоб змінити характер розвитку таких складних систем, як країни, регіони, міста, необхідно врахувати та вплинути на дуже велику кількість параметрів, які характеризують найрізноманітніші галузі існування об'єкта що розглядається. Для характеристики цих об'єктів вибрано обмежену кількість показників, згідно з аналізом, проведеним у роботі [1]. Це індикатори та індекси сталого розвитку.

Сценарне планування вже багато десятиліть застосовують крупні корпорації і холдинги, підтверджуючи успішність такого підходу (яскравий приклад — нафтогазовий холдинг Shell [3]).

Сценарний метод полягає в організації ітераційної дослідницької процедури побудови сценаріїв можливого розвитку системи, для якої виконується аналіз. Він є методом організації міждисциплінарних прогностичних досліджень за участю фахівців різного профілю і з різними поглядами на проблему. Всі процедури методу засновано на поєднанні логіко-евристичного аналізу з формальними методами досліджень, зокрема із застосуванням математичних моделей. Сценарний підхід дозволяє уникнути «тунельного бачення» (tunnel vision) — безальтернативного погляду на те, що відбувається в світі і може привести до ухвалення невдалих рішень, хоча вони здавалися зваженими у момент їх ухвалення.

Завданням дослідників, які беруть участь у підготовці сценарію, є створення єдиного уявлення про об'єкт аналізу, закономірності і можливі шляхи його розвитку на єдиній методологічній і методичній базі. При цьому під сценарієм розуміється гіпотетична послідовність подій, що показує, як за відомих початкових умов може послідовно змінюватися стан досліджуваного об'єкта [4].

Одним із зручних методів аналізу в стратегічному плануванні є SWOT-аналіз [5], при виконанні якого визначаються сильні характеристики об'єкта — Strengths, слабкі — Weaknesses, його можливості — Opportunities і загрози для нього — Threats. Технологію SWOT-аналізу запропонував професор А. Хемпфрі (A. Humphrey). Він провів перші дослідження, що базувалися на SWOT-аналізі, у Стенфордському університеті в 1960–1970-х роках.

У подальшому методика SWOT-аналізу удосконалювалася і розвивалася. Наразі SWOT-аналіз є важливою складовою стратегічного планування і застосовується крупними компаніями і холдингами при побудові можливих сценаріїв їх подальшого розвитку. Все частіше він застосовується і при побудові сценаріїв розвитку таких складних систем, як великі мегаполіси, регіони і країни [6].

Сутність SWOT-аналізу полягає у визначенні і співставленні сильних і слабких характеристик системи по відношенню до можливостей і загроз зовнішнього середовища. Процедура аналізу визначає наявність у досліджуваного об'єкту стратегічних перспектив і можливостей їх реалізації.

Виходячи з наведених особливостей сценарного підходу і методу SWOT-аналізу, виберемо їх як основні інструменти побудови сценаріїв розвитку України.

ПІДГОТОВКА ПОЧАТКОВИХ ДАНИХ ДЛЯ ПОБУДОВИ СЦЕНАРІЇВ

Важливою умовою при дослідженні такої складної системи, як країна, та побудові сценаріїв її розвитку є підготовка об'єктивних і повних даних для дослідницької бази. У даній роботі базою для формування характеристик об'єкта вибрано індикатори метрики вимірювання сталого розвитку (МВСР) [1]. МВСР використовує 63 індикатори, що достатньо повно охоплюють економічну, соціально-інституціональну та екологічну сфери.

Всі дані збираються і надаються у відкритий доступ авторитетними міжнародними організаціями. Накопичені ж вони і зберігаються з можливістю відкритого і зручного доступу до них у сховищах Світового центру даних з геоінформатики та сталого розвитку [7].

Взявши за основу ці дані та використовуючи процедуру інверсного аналізу МВСР [1], отримуємо простір сильних і слабких показників для країни. З метою визначення можливостей і загроз пропонується скористатися методом експертного оцінювання [8] шляхом залучення експертів і організації їх роботи у декілька етапів.

На основі індикаторів МВСР сформуємо систему критичних індикаторів для даного об'єкта. Під системою критичних індикаторів розумітимемо індикатори, що відображають сильні і слабкі сторони об'єкта. Для їх визначення пропонується сформувати групи порівняння (Peer group) і ввести в них аналогічні об'єкти (при роботі з країнами — країни, з містами — міста), порівняння з якими важливе для дослідження. У групу порівняння можуть увійти сусідні країни або міста, відповідно, або ж лідери у напрямках розвитку даного об'єкта.

Для сортирування індикаторів МВСР на сильні і слабкі характеристики необхідно розрахувати відносні відхилення їх значень від значень тих самих індикаторів для Peer group за формулою

$$D = \frac{P(U) - P(\text{PeerGroup})}{P(\text{PeerGroup})} 100,$$

де D — відносне відхилення значення від параметра, %; $P(U)$ — значення індикатора МВСР для даної країни; $P(\text{PeerGroup})$ — значення цього ж параметра для групи порівняння.

Ті індикатори, відносне відхилення для яких виявилось більше, ніж 10%, віднесемо до сильних характеристик, менше — до слабких, а ті, що потрапили всередину, — до нейтральних.

Таким чином визначаємо внутрішні характеристики об'єкта, необхідні для проведення SWOT-аналізу — його сильні і слабкі сторони (Strengths and Weaknesses).

Так, для визначення системи критичних показників України у даному дослідженні в якості Peer group обрано її крупного сусіда, постсоціалістичну країну, члена ЄСП — Російську Федерацію (РФ).

У результаті порівняння значень індикаторів МВСР для України з відповідними значеннями для РФ отримано набір критичних індикаторів, які дозволили визначити сильні та слабкі характеристики для проведення SWOT-аналізу. В табл.1 наведено значення показників, що виявилися критичними для України у порівнянні з РФ.

Таблиця 1. Критичні категорії політики та індикатори України у порівнянні з Peer group РФ

Категорія політики	Індикатор	Значення для України $P(U)$	Значення для Peer Group РФ $P(\text{PeerGroup})$	Відхилення $D, \%$
Базові умови	Інфраструктура	3,09	3,48	-11,21
	Макроекономічна стабільність	4,67	5,35	-12,71
Збільшення ефективності	Розмір ринку	4,62	5,54	-16,61
Економічна свобода	Свобода ведення бізнесу	3,83	3,7	-16,1
	Свобода від уряду	28	25	-38,13
	Свобода праці	54,3	64,2	-15,42
Життєздатність екосистем	Індекс якості води	31,7	48,3	-34,37
	Нестача питної води	73,3	97,7	-24,97
	Індекс ризику збереження навколишнього середовища	9,7	87,9	-88,96
	Ефективність збереження навколишнього середовища	5,5	74,5	-92,62
	Захищеність морських територій	16	26	-38,46
	Нестача іригації	84,4	96,3	-12,36
	Навантаження на рілля	1,5	57	-97,37
	Площа випаленої території	17,8	74,6	-76,14
Якість життя	Економіка	38	43	-11,63
Належний стандарт життя	ВВП на душу населення, \$ США	6848	10845	-36,86

Визначення зовнішніх характеристик — можливостей і загроз (Opportunities and Threats) — пропонується проводити із залученням експертів, робота яких може бути організована різними методами, залежно від можливостей, цілей і масштабів дослідження.

ЗАСТОСУВАННЯ ФОРМАЛЬНОЇ ПРОЦЕДУРИ ПОБУДОВИ СЦЕНАРІЇВ. ПРОВЕДЕННЯ SWOT-АНАЛІЗУ

Наступний етап запропонованого методу побудови сценаріїв полягає в застосуванні формальної процедури побудови сценаріїв із використанням SWOT-аналізу.

На попередніх етапах були визначені чотири складові SWOT-аналізу: сильні і слабкі сторони об'єкта, а також можливості і загрози для нього. Позначимо сильні сторони об'єкта $S_t, t \in N$, слабкі — $W_j, j \in N$, можливос-

ті — $O_k, k \in N$, загрози — $T_l, l \in N$. Далі проведемо співставлення цих чотирьох компонентів між собою. Співставлення проводиться відповідно до таких чотирьох підматриць:

1. **Підматриця ST.** Сильні характеристики, що можуть компенсувати загрози.
2. **Підматриця SO.** Сильні характеристики, що роблять більш ймовірними відповідні можливості.
3. **Підматриця WT.** Слабкі характеристики, що можуть посилити відповідні загрози.
4. **Підматриця WO.** Слабкі характеристики, що роблять менш ймовірними відповідні можливості.

Результати такого зіставлення наведено у табл. 2.

Таблиця 2. Матриця співставлення компонентів SWOT-аналізу (дані для України, короткостроковий період)

	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8
S1																	
S2																	
S3																	
S4																	
S5																	
S6																	
S7																	
S8																	
S9																	
S10																	
W1																	
W2																	
W3																	
W4																	
W5																	
W6																	
W7																	
W8																	
W9																	
W10																	
W11																	
W12																	
W13																	
W14																	
W15																	
W16																	
W17																	
W18																	
W19																	

У табл. 2 темним і сірим кольорами показано клітинки, що відповідають перетину

- сильної сторони об'єкта і загрози, яка може бути частково компенсована цією сильною стороною;
- слабкої сторони об'єкта і загрози, яка може бути частково посилена цією слабкою стороною;
- сильної сторони і можливості, реалізація якої стає вірогіднішою завдяки цій сильній стороні;
- слабкої сторони і можливості, реалізація якої стає менш вірогідною у зв'язку з наявністю цієї слабкої сторони.

Таким чином, визначаємо, які саме сильні і слабкі характеристики можуть впливати на реалізацію відповідних загроз та можливостей. На наступному кроці знайдемо кількість відповідних сильних і слабких характеристик, що впливають на реалізацію кожної можливості і загрози для об'єкта (табл. 3), де D — фактор впливу (різниця між кількістю сильних і слабких характеристик для кожної можливості і загрози).

Таблиця 3. Кількість відповідних сильних та слабких характеристик, що впливають на реалізацію кожної з можливостей або загроз (дані для України, короткостроковий період)

Номер загрози/можливості	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9	O1	O2	O3	O4	O5	O6	O7	O8
Кількість сильних характеристик	0	0	0	4	1	1	1	2	4	3	2	2	2	0	3	0	2
Кількість слабких характеристик	3	6	4	7	5	3	3	4	8	3	3	4	4	3	6	3	2
D	-3	-6	-4	-3	-4	-2	-2	-2	-4	0	-1	-2	-2	-3	-3	-3	0

Для того щоб з'ясувати, які з слабких характеристик об'єкта є найбільш небезпечними з точки зору ослаблення найбільшої кількості можливостей та посилення найбільшої кількості загроз, а які з сильних характеристик є найбільш перспективними (у такому ж розумінні), підрахуємо для кожної сильної і слабкої характеристики кількість загроз і можливостей, на які вони впливають (табл. 4, де F — фактор впливу — сума загроз та можливостей, на які впливає кожна сильна характеристика, і табл. 5, де G — фактор впливу — сума загроз та можливостей, на які впливає відповідна слабка характеристика).

Таблиця 4. Кількість загроз та можливостей, на які впливає кожна з сильних характеристик (дані для України, короткостроковий період)

Сильна характеристика	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10
Кількість загроз, яким може завдати сильна характеристика	1	0	0	0	4	1	0	1	2	2
Кількість можливостей, яким може сприяти сильна характеристика	0	2	2	2	0	2	1	2	2	1
F	1	2	2	2	4	3	1	3	4	3

Таблиця 5. Кількість загроз та можливостей, на які впливає кожна з сильних характеристик (дані для України, короткостроковий період)

Слабка характеристика	W 1	W 2	W 3	W 4	W 5	W 6	W 7	W 8	W 9	W 10	W 11	W 12	W 13	W 14	W 15	W 16	W 17	W 18	W 19
Кількість загроз, які підсилюються слабкою характеристикою	0	1	1	2	4	0	2	5	4	1	1	2	4	2	3	0	5	2	2
Кількість можливостей, яким перешкоджає слабка характеристика	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	1	1	5	1	4	1	6	5	2
<i>G</i>	1	1	1	2	4	0	3	5	4	1	2	3	9	3	7	1	11	7	4

Аналізуючи побудовані таблиці, визначимо найбільш перспективні можливості та найбільш небезпечні загрози, а також сильні і слабкі сторони, на які слід звернути увагу в першу чергу.

ОПИС РЕЗУЛЬТАТІВ ЗАСТОСУВАННЯ ЗАПРОПОНОВАНОГО ПІДХОДУ ДО ПОБУДОВИ СЦЕНАРІЇВ РОЗВИТКУ УКРАЇНИ

На основі застосування описаної вище методики побудовано три сценарії розвитку України на таких часових інтервалах:

- короткостроковому (до 2010 р.);
- середньостроковому (2010–2020 рр.);
- довгостроковому (2020–2050 рр.).

Сценарій «Старі політики» на короткостроковий інтервал часу (до 2010 р.)

Загрози

1. T2 (дисбаланс між біоемністю і людськими потребами) — найнебезпечніша для України загроза, оскільки одночасно 6 слабких характеристик збільшують її вірогідність та немає жодної сильної характеристики, яка б могла перешкоджати її реалізації. Фактор впливу $D = -6$.

2. T3 (дезорієнтація в геополітичній ситуації), T5 (низький рівень боротьби із злочинністю), T9 (наростаюча нерівність між різними прошарками населення країни) займають другу позицію по вірогідності реалізації. При цьому для T3 немає сильних характеристик, які б перешкоджали їй, тоді як для T9 існує 8 слабких характеристик, які роблять її небезпечнішою і 4 сильних, які могли б перешкоджати цій зазрозі. Фактор впливу $D = -4$.

3. Для T1 (загроза енергетичній безпеці України) існує 3 слабкі характеристики, які роблять її небезпечною для країни, і не існує жодної сильної, яка б могла ослаблювати її. Фактор впливу $D = -3$.

4. Для T4 (погіршення демографічної ситуації) існує 4 відповідні сильні характеристики і 7 слабких. Ця загроза стане достатньо небезпечною, якщо існуючих сильних характеристик виявиться недостатньо, щоб в сумі компенсувати цю загрозу з врахуванням 7 слабких характеристик, які їй сприяють. Фактор впливу $D = -3$.

Можливості

1. Для О1 (вступ України до ВТО) та О8 (отримання асоційованого членства в Сьомій рамковій програмі ЄС) існує однакова кількість сильних і слабких характеристик, які впливають на їх реалізацію. Таким чином, ці можливості при ефективному застосуванні сильних характеристик є повністю реальними для країни і з вірогідністю 50% можуть бути реалізовані. Фактор впливу $D = 0$.

2. Для О2 (збереження (консервація) основних державних інституцій для майбутнього) існують 2 сильні характеристики, які позитивно впливають на її реалізацію і 3 слабкі, які можуть перешкоджати їй. Ця можливість є також вірогідною для України. Фактор впливу $D = -1$.

3. Для О3 (збереження транспортних і транзитних мереж) і О4 (отримання середніх і вище середніх урожаїв сільськогосподарської продукції) існують по 2 сильні і 4 слабкі характеристики. З урахуванням їх сумарного впливу для реалізації можливостей О3 і О4 необхідно буде подолати багато складнощів. Фактор впливу $D = -1$.

Сильні характеристики, що найбільш впливають на загрози і можливості

1. S5 (належні санітарні умови) і S9 (високий рівень освіти серед дорослого населення країни) є найвпливовішими з огляду на те, що кожна з них в сумі впливає на найбільшу кількість можливостей і загроз. Фактор впливу $F = 4$.

2. Кожна з характеристик S6 (вигідне географічне положення) і S10 (Україна має порівняно комфортний клімат) впливає на 3 чинники зовнішнього середовища і є дуже корисною для держави. Фактор впливу $F = 3$.

3. S2 (незначні тарифні і нетарифні перешкоди на шляху доступу до ринку України), S3 (відкритість банківської і фінансової систем), S4 (добре розвинена інфраструктура) впливають на 2 чинники зовнішнього середовища. Фактор впливу $F = 2$.

Найбільш і найменш небезпечні слабкі характеристики

1. W17 (значна політична нестабільність в країні), W13 (макроекономічна нестабільність), W15 (високе зростання інфляції, яка зумовлює низький ВВП і повільні темпи його зростання) впливають відповідно на 11, 9 і 7 чинників зовнішнього середовища, створюючи перешкоди для реалізації можливостей і сприяючи високій вірогідності реалізації загроз. Ці слабкі характеристики необхідно подолати, адже саме вони в найбільшій мірі роблять країну сприйнятливою до загроз. Фактори впливу відповідно $G = 11$, $G = 9$, $G = 7$.

2. W5 (висока вартість життя), W8 (низька якість і брак питної води), W19 (відсутність консолідації політичних сил у суспільстві навколо загальнонаціональних цілей та пріоритетів) — наступні по небезпечності для держави з точки зору реалізації її можливостей та вразливості до загроз. Ці слабкі характеристики впливають на 4 або 5 чинників зовнішнього середовища. Фактори впливу для них відповідно $G = 4$, $G = 5$, $G = 4$.

3. W4 (високий рівень викидів парникових газів), W7 (низький показник ВВП на душу населення), W12 (недостатній рівень свободи праці), W14 (брак води для зрошування в сільському господарстві) впливають на 2–3

чинники зовнішнього середовища. Фактори впливу відповідно $G = 2$, $G = 3$, $G = 3$, $G = 3$.

Сценарій «Нова генерація» на середньостроковий інтервал часу (2010–2020 рр.)

Загрози

1. Т9 (погіршення демографічної ситуації) є найбільш небезпечною на даному проміжку. Сприйнятливість до неї підсилює одночасно 7 слабких характеристик. Фактор впливу $F = -4$.

2. Для Т1 (наростання енергетичної кризи), Т2 (погіршення екологічної ситуації), Т10 (погіршення якості і брак питної води) існує по три слабкі характеристики, які підсилюють сприйнятливість країни до них і немає жодної сильної характеристики, яка б їм перешкоджала. Фактор впливу $F = -3$.

Можливості

1. Для О1 (прориви на міжнародному рівні) існує більше всього сильних характеристик, які підсилюють її і сприяють реалізації. Кількість слабких характеристик, що перешкоджатимуть цій можливості, теж достатньо висока. Проте сумарний вплив сильних характеристик компенсує вплив слабких. Фактор впливу $F = 1$.

2. Для О2 (прорив у сільському господарстві), О3 (розширення експортних можливостей в постачанні електроенергії), О4 (прорив на ринках інформаційних технологій), О5 (розвиток туризму) різниця між кількістю сильних сторін, які позитивно впливають, і слабких, що впливають негативно, виявилася рівною -2 . Фактор впливу $F = -2$. На шляху реалізації цих можливостей необхідно подолати ряд перешкод. Проте існують сильні характеристики, які сприятимуть їх реалізації.

3. Найбільше перешкод виникає для можливості О6 (розвиток транзитного потенціалу). Фактор впливу $F = -5$. Це одна з найважливіших можливостей для України, тому вона повинна мобілізувати величезні зусилля для усунення цих перешкод.

Сильні характеристики

1. Найціннішими на середньостроковому проміжку будуть такі характеристики, як S6 (вигідне географічне положення) і S9 (високий рівень освіти дорослого населення країни). Фактори впливу дорівнюють відповідно $F = 5$, $F = 7$.

2. S4 (добре розвинена інфраструктура), S5 (високий відсоток населення країни має доступ до покращених санітарних умов), S8 (високий відсоток населення має вищу освіту), S10 (комфортний для життя клімат) дуже важливі, оскільки кожна з них позитивно впливає на чотири чинники зовнішнього середовища. Фактор впливу $F = 4$.

3. S1 (у високій мірі розвинені політичні права і свободи громадян), S2 (незначні тарифні і не тарифні перешкоди на шляху доступу до ринку), S3 (відкритість банківської і фінансової систем), S7 (високий відсоток чорноземів) впливають кожна на один чинник зовнішнього середовища і мають дещо менше, але все ж велике значення на середньостроковому проміжку. Фактор впливу $F = 1$.

Слабкі характеристики

1. Характеристики, які перш за все необхідно подолати, тому що вони негативно впливають на найбільшу кількість чинників зовнішнього середовища: W17 (внутрішня політична нестабільність) і W13 (макроекономічна нестабільність). Фактори впливу відповідно $G = 12$, $G = 14$.

2. Наступні по небезпечності і негативності впливу характеристики — W5 (висока вартість життя), W9 (низька якість і дефіцит питної води), W11 (обмежена свобода ведення бізнесу), W16 (низька якість інфраструктури). Кожна з них впливає на 5–6 загроз і можливостей. Фактори впливу відповідно $G = 6$, $G = 5$, $G = 5$, $G = 5$.

3. W4 (високий рівень викидів парникових газів), W8 (високий рівень корупції), W12 (обмежена свобода праці) впливають кожна на чотири чинники зовнішнього середовища і теж є достатньо небезпечними і потребують найшвидшого вирішення пов'язаних з ними проблем. Фактори впливу $G = 4$.

Сценарій «Швидкий розвиток» на довгостроковий інтервал часу (2020—2050 рр.)

На довгостроковий інтервал часу (2020 – 2050 рр.) побудовано сценарій розвитку України, названий «Швидкий розвиток». У зв'язку з існуванням дуже великої кількості можливих варіантів розвитку на попередніх етапах кількість варіантів на довгостроковий проміжок зростає, тому наведемо тільки «оптимістичний» сценарій, який може реалізуватися у випадках виконання рекомендацій, отриманих для попередніх двох проміжків. Опишемо цей сценарій.

У довгостроковій перспективі стратегічний потенціал України і високий рівень освіти населення дадуть можливість розвивати людський капітал країни, який стане базовою перевагою і головною сильною характеристикою («наріжним каменем») нації. Якщо за пріоритетну буде поставлено мету виховання конкурентоздатного молодого покоління українських політиків, учених і дипломатів, Україна матиме успіх в першій половині XXI сторіччя.

Належним чином сплановане стратегічне застосування знань, розвиток науки і технологій створить покоління українців, які зможуть вивести країну на передові позиції серед країн Центральної і Східної Європи. Відносини України з Росією, Євросоюзом і Сполученими Штатами Америки розвиватимуться рівно і позитивно. Для того щоб скористатися цими можливостями, Україна повинна здобути і ряд нових сильних характеристик.

Дуже важливим є збереження високого людського потенціалу і виведення його на якісно новий рівень, а також збереження і відновлення інфраструктури, налагодження високотехнологічного виробництва, інвестицій у розвиток високотехнологічних галузей науки, надання більшої уваги екологічним показникам. У той же час інтенсивний розвиток сільського господарства і вихід на лідируючі позиції по забезпеченню великої частини світу продуктами харчування, а також підняття ролі і розвиток якісних соціальних характеристик повинні стати запорукою успіху в майбутньому і зробити реалізацію сценарію «Швидкого розвитку» реальною.

ВИСНОВКИ

Описано методику побудови сценаріїв розвитку України з використанням об'єктивних даних (індексів та індикаторів сталого розвитку), сценарного підходу, SWOT-аналізу, експертних методів. У результаті застосування розробленої методики побудовано сценарії розвитку країни на трьох часових проміжках: короткостроковому (до 2010 р.), середньостроковому (2010–2020 рр.), довгостроковому (2020–2050 рр.).

Стратегічним напрямком розвитку країни в даній роботі прийнято розвиток, згідно з моделлю «Гармонізоване суспільство». Проведений аналіз показав, що для досягнення позитивних тенденцій у своєму розвитку Україна повинна покращувати показники індикаторів МВСП, які взято за основу для аналізу і які є об'єктивними показниками стану сталого розвитку держави, а також дотримуватися рекомендацій по запобіганню негативного впливу визначених слабких сторін, зберігати сильні, реалізовувати наявні можливості, а також запобігати найбільш небезпечним для розвитку загрозам.

ЛІТЕРАТУРА

1. Згуровский М.З., Гвишиани А.Д. Глобальное моделирование процессов устойчивого развития в контексте качества и безопасности жизни людей. — Киев: «Политехника», 2008. — 350 с.
2. Human Development Report 2007/2008. — http://hdr.undp.org/en/media/hdr_2007/2008_en_complete.pdf.
3. Данников В.В. Холдинги в нефтегазовом бизнесе. Стратегия и управление. — М.: Элвойс-МСерия, 2004. — 160 с.
4. Данников В.В. Применение сценариев в нефтегазовом бизнесе // Экономические стратегии. — 2004. — №5-6. — С. 86–89.
5. SWOT analysis method and examples. — <http://www.businessballs.com/swotanalysisfreetemplate.htm>.
6. The challenge of Venezuela: a SWOT analysis. — http://goliath.ecnext.com/coms2/summary_0198-400954_ITM/.
7. Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. — <http://wdc.org.ua>.
8. Zgurovsky M.Z., Pankratova N.D. System Analysis: Theory and Applications. — Springer. — 2007. — 448 p.

Надійшла 11.12.2008

MODELLING OF THE CIVILIZATIONS' BREAK LINES IN CONTEXT OF THEIR FUNDAMENTAL CULTURAL DIFFERENCES

M. ZGUROVSKY, A. PASICHNY

Given article describes a development of a methodology of world geopolitics research with the use of contemporary geopolitical paradigms based on the work of expert groups in definition of the examined objects, development the set of evaluation criteria, and quantitative estimation of the cultural differences of different objects. Current research was based on hypothesis of S. Huntington about the “clash of civilizations”.

INTRODUCTION

Discovering the mankind's development laws and their subsequent studying has always been interesting for scientists, both from qualitative and quantitative points of view. Already after the Second World War in RAND Corporation (USA) these problems were studied with the use of the game theory [1] and strategy of world conflicts [2]. Jay Forrester [3] and Denis Meadows [4] continued the research of global processes on the basis of world dynamics models created at request of the Club of Rome in the early seventies.

It is worth mentioning, that at that time theories, basically, were directed at modelling and prognosticating of the bipolar world. But within the last 20 years approaches to the description of the world system dynamics have been substantially reconsidered, proceeding from the new geopolitical situation in the world. They also have been essentially improved due to the development of mathematical methods of system and scenario analysis [5] and technological calculation means. The volume of global statistics increased, which allowed to develop integrated indicators of a sustainable development and system threats for the particular countries and world regions [6, 7, 15].

GEOPOLITICAL MODELS OF THE MODERN WORLD

After the end of bipolar world era and as a result of globalisation processes, there appeared the necessity of formation of new paradigms which would most precisely reflect the existent situation in the world. As a result, at the beginning of nineties, there were formed 5 basic world cultures models, singled out in geopolitical aspect (fig. 1):

a. Model “Euphoria and harmony uniting world” (The concept of a uniform terrestrial civilization)

Supporters of this theory led by Francis Fukuyama and his well-known essay “The end of history and the last man” [8] considered that communism crash

would lead to domination of the western institutes of liberal democracy and free markets all over the world. And all the remained conflicts would be insignificant and would not be of ideological character. Several years after the fall of the Berlin wall, with an increase of the number and scope of regional conflicts, it became clear that this model little coincides with the political reality.

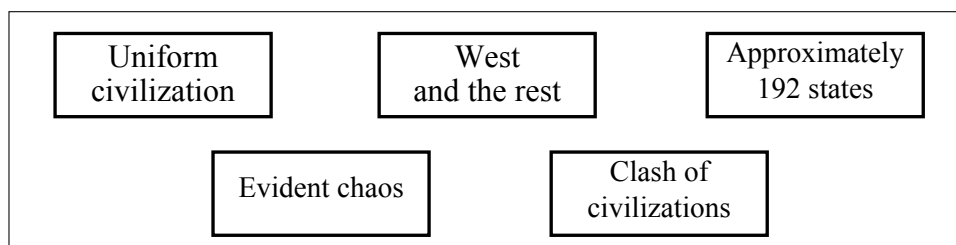


Fig. 1. Geopolitical world models, which appeared after the end of the Cold War

b. Model “Two worlds: we and them” (or “West and the rest”)

This model is known as «West against East», or «the rich north against the poor south», «the faithful against sceptics», and so forth. The model is very simple and does not describe any real conflicts in the world and fundamental distinctions between cultures and groups of countries. More detailed global data analysis that has been made recently resulted that a phenomenon of bipolarity and inequality gap is highly contextualized [9] therefore it cannot be used as a global model.

c. Model “Approximately 192 states”

In this model the assumption is made, that all states would practice exclusively pragmatic policy, would maximize their own power, search the balance of forces, and so forth. The majority of states, to certain extent, do it actively, but this model neglects cultural indications of alliances which is very essential. On the other hand, S. Huntington [10] shows that according to this "ideal" theory of forces' balance, the Western Europe should have united with Soviet Union in a fight against powerful, especially after the Second World War, United States. On the contrary, the West European governments, supposing that the Soviet Union was a threat for their way of life, concluded the alliance with the USA and generated NATO. According to Huntington, the states-nations will remain the basic players in the world politics. So, this model is useful, but it does not explain the developed distinctions between the international systems during the cold war and after its end, as the states have always pursued their own interests.

d. Model “Evident chaos”

This model envisages [11] that states and nations would lose their importance and eventually start to “diffuse” and even disappear. The power would be chaotically captured by small geographical subjects or even separate individuals. Racial, ethnic and religious conflicts would amplify, the weapons of mass destruction would be extended, and terrorism would increase in frequency and scale. The power of transnational corporations and mafia organizations would also increase. The Internet would become the most powerful authority in the XXI century, business elite in cyber-space would become an essential player on the world scene. The

world with the unified state would be impossible, and international regulating tools, first of all the UN, would disappear. Huntington recognizes that this “anarchy” model adequately reflects the real current processes to large extent, but it has no prospect from the point of view of relative importance of tendencies and the prognosis of various conflicts' development.

e. Model “Clash of civilizations”

Due to the shortcomings of all the aforementioned paradigms, S. Huntington offered one more concept of the subsequent world interaction, which is based on the civilization approach. In his work [12] Huntington defined 8 basic civilizations: Western, Confucian, Japanese, Islamic, Hindu, Slavic, Latin American and African, and showed, that the subsequent world conflicts would be based not on the ideological opposition, but on the cultural distinctions between these civilizations.

DEFINITION OF THE RESEARCH TARGET ON THE BASIS OF EXPANDED CIVILIZATION APPROACH

It should be noted, that civilization approach has already been repeatedly used both in historical researches [13], and in the world dynamics modelling [14]. Taking into consideration the fact that we are, first of all, interested in the cultural context of system dynamics and influence of cultural distinctions on the course of world conflicts, the concept of Huntington became a base of the subsequent modelling of distinctions between civilizations.

Research objective of this section is the quantitative and qualitative analysis of distinctions between world cultures on the basis of carrying out expert estimation of pair distinctions between civilizations according to Huntington [10] by the criteria defined by experts within the limits of the conducted modelling.

During the carrying out of the above-mentioned modelling we will execute the following stages:

- a. Make specifications of the civilization distribution, suggested by S. Huntington.
- b. Develop a system of criteria for the estimation of cultural distinctions between civilizations.
- c. Develop and perform expert estimation of the cultural distinctions.
- d. Process the estimation data and calculate values of “breaks” between civilizations.

SPECIFICATION OF THE CIVILIZATION DISTRIBUTION AND COUNTRIES' CLUSTERING ACCORDING TO THE CRITERIA OF BELONGING TO CIVILIZATIONS

In order to avoid the subsequent ambiguous interpretation, let us give definition of the term “civilization”, which will be used in this research: civilization — human community, which during the certain period of time (process of origin, development, destruction or civilization transformation) has stable features in the socio-

political organisation, economy and culture (science, technologies, art, etc.), common cultural wealth, ideals, mentality and world-view [14].

Procedure of clustering (association of civilizations' relative criteria in groups) will be conducted on the basis of use of the expert estimation method. With that end, let us generate and organise work of several expert groups. **The first expert group** carried out the collective discussion of the offered list of civilizations and distribution of countries between them. This expert group included specialists — international affairs experts with global vision of geopolitical processes in the world. Formation of the civilization list (clusters) was conducted by the way of achieving compromise between historical and mental signs of their cultures and attempts to identify the most powerful cultural features of each civilization.

As a result, 192 countries (UN members) have been grouped in 12 civilizations, shown in fig. 2 and [15].

Using all the previous calculations of remoteness degrees of the world countries from the set of global threats, let us define average values of this remoteness degree (Table 1) for groups of countries, united on the basis of common culture (according to the specified civilization distribution of countries, suggested by S. Huntington [10]).

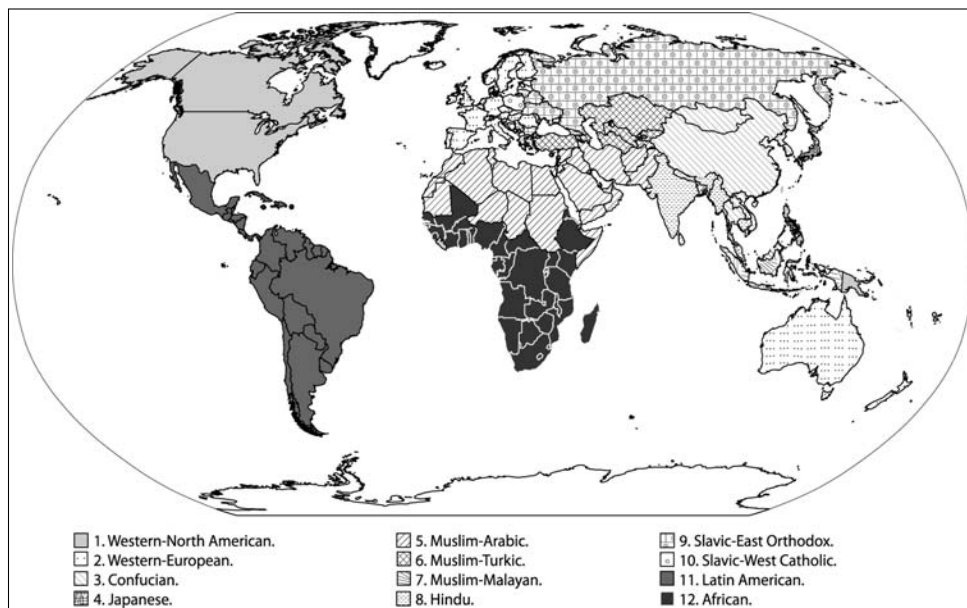


Fig. 2. Map of countries' distribution by civilizations

From the degrees of remoteness from set of global threats of civilizations given in table 1 we see, that most «successful» from the point of view of safety is the Japanese civilization, on the second place by this indicator is Western-North American, on the third — Western-European, on the fourth and fifth accordingly — Slavic-West Catholic and Slavic-East Orthodox, on the sixth — Muslim-Malayan, on the seventh — Latin American, on the eighth — Confucian, on the ninth and tenth accordingly — the Muslim-Arabic and Muslim-Turkic civilizations, on the eleventh — Hindu, and eventually on the twelfth — African.

Table 1. Remoteness degrees of civilizations from the set of global threats

Civilization / Threats	Security rating	Degree of remoteness from the set of global threats	Energetic security index	Misbalance between biosphere and people's necessities	Inequality (GINI index)	Corruption perception	Access to the drinking water	CO2 emissions	Children's mortality	Vulnerability to catastrophes	State instability	Vulnerability to global illnesses
1. Western-North American Canada, USA	2	0,613	0,419	0,679	0,633	0,795	1,000	0,323	0,974	0,999	0,960	0,742
2. Western-European Australia, Austria, Belgium, Denmark, Estonia, Israel, Ireland, Spain, Italy, Latvia, Lithuania, Luxembourg, Germany, New Zealand, Norway, Portugal, Romania, the United Kingdom, Finland, France, Switzerland, Sweden	3	0,598	0,156	0,489	0,672	0,747	0,981	0,679	0,975	0,999	0,957	0,703
3. Confucian Vietnam, China, Mongolia, Republic Korea, Thailand	8	0,408	0,068	0,124	0,629	0,350	0,830	0,853	0,903	0,962	0,712	0,562
4. Japanese Japan	1	0,644	0,012	0,394	0,751	0,750	1,000	0,670	0,984	0,995	1,000	0,815
5. Muslim-Arabic Algeria, Bangladesh, Bosnia and Herzegovina, Egypt, Yemen, Pakistan, Tajikistan, Tunis	9	0,364	0,110	0,065	0,670	0,280	0,830	0,929	0,772	0,979	0,495	0,500
6. Muslim-Turkic Albania, Azerbaijan, Kazakhstan, Kyrgyzstan, Turkmenistan, Turkey, Uzbekistan	10	0,343	0,159	0,091	0,690	0,243	0,837	0,825	0,744	0,996	0,617	0,409
7. Muslim-Malayan Indonesia, Malaysia	6	0,438	0,151	0,140	0,583	0,370	0,880	0,847	0,904	0,998	0,740	0,588
8. Hindu India, Cambodia, Nepal, Sri Lanka	11	0,336	0,242	0,049	0,617	0,280	0,740	0,983	0,695	0,991	0,430	0,513
9. Slavic-East Orthodox Belarus, Bulgaria, Greece, Georgia, Moldova, the Russian Federation, Ukraine	5	0,463	0,124	0,141	0,665	0,314	0,951	0,804	0,927	0,998	0,783	0,461
10. Slavic-West Catholic Poland, Slovenia, Slovakia, Croatia, the Czech republic	4	0,563	0,034	0,275	0,714	0,500	1,000	0,737	0,976	1,000	0,944	0,622
11. Latin American Argentina, Bolivia, Venezuela, Guatemala, Haiti, Dominican republic, Ecuador, Fur-tree El Salvador, Colombia, the River Kosta, Mexico, Nicaragua, Panama	7	0,425	0,168	0,137	0,477	0,306	0,880	0,931	0,856	0,979	0,691	0,634
12. African Cameroon, Nigeria, Southern African Republic, Zambia, Zimbabwe	12	0,215	0,273	0,060	0,502	0,288	0,682	0,920	0,420	0,999	0,360	0,271

FORMATION OF CRITERIA FOR ESTIMATION OF CULTURAL DISTINCTIONS BETWEEN CIVILIZATIONS

To identify cultural distinctions between civilizations one should select a considerable number of criteria. At the same time, from the practical point of view, it is necessary to adhere to the reasonable compromise in the criteria quantity, their aggregated descriptiveness and universality. It is necessary to give each expert an opportunity to clearly differentiate distinctions between civilizations under consideration.

At the first stage those characteristics which are informative for research have been defined:

1. **Faith:** religions, views and erudition.
2. **Changes:** development, perfection, modernization and progress.
3. **Conflicts:** wars, terrorism, genocide, civil oppositions.
4. **Freedoms:** independence, democracy, rights and obligations, citizenship.
5. **Identification:** nation, nationality, ethnos, clan, group; religion; assimilation and adaptation.
6. **Judgments:** good and evil; morality, responsibility; traditionalism, politeness and intelligence.
7. **Knowledge:** scientific character and wisdom.
8. **Nature:** ecology, biosphere, sustainable development.
9. **Policy:** ideology and liberality, conservatism and neo-conservatism, fundamentalism, moderation and radicalism, “left” and “right”.
10. **Society components:** gender, family, castes and clans.

Following the results of **the second expert group** work, in which there were experts in sociology, culturology and international relations, 8 basic criteria were formulated, which most fully characterize cultural distinctions between civilizations, according to the experts' point of view:

1. **Value of human life.**
Range: “Human life is worthless”—“Human life is the highest value”.
2. **Personal freedom inside society.**
Degree of moving freedom, freedom of utterances, private life, etc.
3. **Status of woman in a society.**
Range: “Full domination of male”—“Gender parity”—“Full domination of female”.
4. **Degree of religion penetration into public life.**
Range: “Religious and church institutions do not influence people's life at all”—“Religious and church institutions greatly influence people's life”.
5. **Ethnic uniformity.**
Degree of interethnic relations' tolerance inside civilization.
6. **Openness or closeness to other cultures (civilizations).**
Degree of the civilization's openness or closeness.
7. **Traditionalism in culture and thinking (conservatism).**
Disposition to changes in traditions and ways of thinking.
8. **Radicalism in political life.**
Stability (constancy) of political life and speed of political courses' change.

EXPERT ESTIMATION OF CULTURAL DIFFERENCES BETWEEN CIVILIZATIONS

After formation of the final list of civilizations and set of estimation criteria (that is getting the first part of expert information - conceptually-notional), there appeared the necessity to specify the expert estimation procedure (getting the estimated expert information).

It is a question of considerable complexity, as experts have no possibility to give absolutely exact estimations of certain characteristics. Moreover, an attempt to make use of the existing methods of pair comparisons for getting cardinal estimations (methods of “line”, Saati and so on) was also unsuccessful owing to the fact that estimations of countries' cultural distinctions by some criteria are not subject to ordering. That is the order relation on these estimations' subspaces is impossible to maintain, even in case of partial order achievement since transitivity property is not carried out:

$$\exists k, civ \in C, \forall i, j \neg \exists R_k(civ_i, civ_j) : civ_i \prec civ_j,$$

where C — set of civilizations, which has been defined at the previous state;

$$R_k \text{ — relation in } C \times C.$$

But for each criterion experts can estimate the distance between corresponding values for each pair of civilizations:

$$\forall k, civ \in C, \forall i, j \exists d_k(civ_i, civ_j) : C \times C \rightarrow R_{[0;1]}.$$

For convenience of distances' estimation, experts used Miller's scale [5], given in table 2.

Table 2. Miller's scale

Qualitative difference estimation	Quantitative estimation	Distance range
Practically have no differences	1	[0; 0.1]
Very little differences	2	[0.1; 0.25]
Little differences	3	[0.25; 0.4]
Middle differences	4	[0.4; 0.6]
Big differences	5	[0.6; 0.75]
Very big differences	6	[0.75; 0.9]
Complete opposites	7	[0.9; 1]

Then the expert estimation will be as following: $d_k(civ_i, civ_j) : C \times C \rightarrow Z_{[1;7]}$. By imposing additional limits (that are quite sensible) to the experts' estimations $d_k(x, z) \leq d_k(x, y) + d_k(y, z)$ (“triangle inequality”), we obtain metric $d_k(x, y)$ (properties $d_k(x, x) = 0$ and $d_k(x, y) = d_k(y, x)$ will be thus evident) and set C becomes metric space.

The result of i -expert estimation will be a set $X_i = (x_i^1, x_i^2, \dots, x_i^k, \dots, x_i^8)$, where each criterion k has a corresponding matrix:

$$x_k^i = \begin{pmatrix} d_k(civ_1, civ_1) & \dots & d_k(civ_1, civ_m) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_k(civ_m, civ_1) & \dots & d_k(civ_m, civ_m) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & \dots & d_k(civ_1, civ_m) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ d_k(civ_m, civ_1) & \dots & 0 \end{pmatrix}.$$

To this matrix the following triangular matrix corresponds:

$$\tilde{x}_k^i = \begin{pmatrix} 0 & \dots & d_k(civ_1, civ_m) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & 0 \end{pmatrix}.$$

On the basis of the matrix structure, which actually should be a result of each expert's swork and using the afore-mentioned criteria of cultural distinctions between civilizations and countries classification into civilizations the following questionnaire was developed (table 3).

Table 3. Questionnaire for the expert estimation of distances between civilizations

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Western-North American	Western-European	Confucian	Japanese	Muslim-Arabic	Muslim-Turkic	Muslim-Malayan	Hindu	Slavic-East orthodox	Slavic-West Catholic	Latin American	African
1	Western-North American	0											
2	Western-European		0										
3	Confucian			0									
4	Japanese				0								
5	Muslim-Arabic					0							
6	Muslim-Turkic						0						
7	Muslim-Malayan							0					
8	Hindu								0				
9	Slavic-East Orthodox									0			
10	Slavic-West Catholic										0		
11	Latin American											0	
12	African												0

For carrying out expert estimation of cultural distinctions between twelve civilizations on the basis of the above-stated eight criteria, **the third group of 14 experts** was created. These experts had experience in the international activity in countries' groups from the above-formed civilizations. Experts estimated cultural distinctions between civilizations ("breaks"/"distances") for each criterion, assigning quantitative values to these breaks, with use of estimations' system from the Miller's scale (table 2).

Thus, after paired estimation of distances between $m=12$ civilizations by $k=8$ criteria for $n=14$ experts, we obtained general estimations' spectrum

$$Z_{[1;7]}^{\frac{1}{2}(m-1)mnk}.$$

PROCESSING EXPERT ESTIMATION DATA AND ANALYSIS OF MODELLING RESULTS

An error of expert estimation results was defined according to the following formula:

$$\varepsilon \approx \frac{3}{2(n-2,5)} = 0,058$$

from which it follows, that the estimation error is approximately 6 %.

After performance of normalisation procedure (reduction of data to a range $[0;1]$) we will get estimations' spectrum $R_{[0;1]}^{\frac{1}{2}(m-1)mnk}$. For the subsequent data analysis we will pass from individual experts' estimations to a group estimation:

$$x_i = \sum_{s=1}^n x_i^s c_s \quad \left(i = 1, 2, \dots, \frac{1}{2}mk(m-1) \right),$$

where c_s — factors of experts' competence, which are normalised $\left(\sum_{s=1}^n c_s = 1 \right)$.

With the use of obtained estimation data, factors of experts' competence were defined on the basis of the following recurrent procedure:

$$x_i^t = \sum_{s=1}^n x_{is} c_s^{t-1} \quad \left(i = 1, 2, \dots, \frac{1}{2}mk(m-1) \right),$$

$$\lambda^t = \sum_{i=1}^{\frac{1}{2}mk(m-1)} \sum_{s=1}^n x_{is} x_i^t \quad (t = 1, 2, \dots),$$

$$c_s^t = \frac{1}{\lambda^t} \sum_{i=1}^{\frac{1}{2}mk(m-1)} x_{is} x_i^t, \quad \sum_{s=1}^n c_s^t = 1 \quad (s = 1, 2, \dots, n).$$

Calculation begins with $t=1$. Initial values of factors are assumed to be identical and equal $c_s^0 = \frac{1}{n}$. Using competence factors of the first approximation, it is possible to repeat the whole process of calculations and get the second approximations x_i^2, λ^2, c_s^2 .

According to [16], this procedure converges under condition of nonnegative definiteness and indecomposability of matrices $B = XX'$, where $X = \|x_{is}\|$. Non-negative matrices' definiteness in this case is obvious. As far as indecomposability is concerned, nonfulfilment of this property would mean that experts and objects

(civilizations × criteria) fall into independent groups, and each expert group estimates its separate group of objects. As it contradicts both the format of the conducted estimation and to the obtained data, the indecomposability property is provided. Consequently, algorithm convergence takes place.

Competence factors' vector, obtained with the help of the presented iterative procedure, coincides with matrix eigenvector, which reflects its biggest eigenvalue. Factors of experts' competence, calculated with the help of the above described recurrent procedure, are presented in fig. 3.

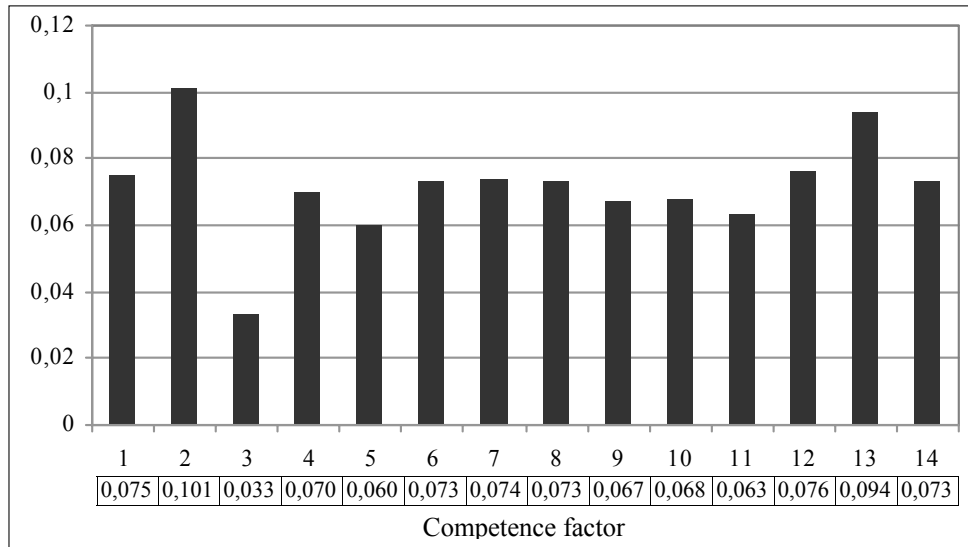


Fig. 3. Experts' competence factors

The detailed calculated group estimations are presented in [15]. On the basis of these estimations' definition, by the presented 8 criteria profiles of distinctions between civilizations were formed, “convergences” and “breaks” between them were defined, characterized by vector $\vec{x} = (x^1, x^2, \dots, x^8)$.

It also allowed making reverse estimation of a system effectiveness of the suggested criteria and experts' work efficiency characterized by the statistical data given in table 4.

Table 4. Statistical characteristics of estimations by various criteria

Characteristics	Criteria							
	1	2	3	4	5	6	7	8
$E[X]$	0,589	0,643	0,596	0,590	0,631	0,619	0,624	0,611
$D[X]$	0,055	0,053	0,052	0,054	0,050	0,049	0,054	0,040

Average criteria correlation among themselves made up 89 %. High correlation value testifies the possible presence of 2 factors:

- a) there is the interdependence of characteristics taken as the principle criteria. This factor can be eliminated through the specification of criteria system by carrying out future researches with attraction of the factorial analysis toolkit;
- b) insufficient quality of experts' recognition of characteristics, which were subject to estimation, which can be eliminated by attracting specialised experts to estimation of the corresponding criteria groups.

Let us execute clustering of the calculated distances with the help of k-means method, having put clusters' number $n = 3$. The clustering results are given in table 5.

Table 5. Clustered distances between civilizations (number of clusters $n = 3$)

Western-North American	Western-European	Confucian	Japanese	Muslim-Arabic	Muslim-Turkic	Muslim-Malayan	Hindu	Slavic-East Orthodox	Slavic-West Catholic	Latin American	African	
3	1	2	1	1	1	1	2	3	2	1	Western-North American	
3	1	2	1	1	1	1	2	3	2	1	Western-European	
1	1	3	2	2	2	2	2	1	2	2	Confucian	
2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	1	Japanese	
1	1	2	2	3	3	2	1	1	2	2	Muslim-Arabic	
1	1	2	2	3	3	2	1	1	2	2	Muslim-Turkic	
1	1	2	2	3	3	3	1	1	2	2	Muslim-Malayan	
1	1	2	2	2	2	3	1	1	2	2	Hindu	
2	2	2	2	1	1	1	1	3	2	1	Slavic-East Orthodox	
3	3	1	2	1	1	1	1	3	2	1	Slavic-West Catholic	
2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	Latin American	
1	1	2	1	2	2	2	2	1	1	2	African	

The greatest distances fell into the first cluster, they actually correspond to breaks between civilizations, to the second cluster — average distances, to the third cluster — the shortest distances corresponding to civilizations' approaching.

The important result of research is the definition of quantitative breaks' indicators. As sets of vectors $\vec{x} = (x^1, x^2, \dots, x^8)$, characterizing “breaks” between i and j civilizations according to all eight criteria are already defined, we will pass to definition of aggregation function:

$$u(X) = u(x^1, x^2, \dots, x^8)$$

by which a set of group estimations by various criteria is brought into accord to general distance, which will be an integral indicator of distinctions between two civilizations. Having chosen the additive form of this integral indicator, we will obtain the following form of function u :

$$u(x_{ij}) = \sum_{h=1}^k \omega_h x_{ij}^h, \quad (i, j = 1, 2, \dots, 12),$$

where ω_h — weight of h criterion.

Assuming that $\omega_i = \frac{1}{k} = \frac{1}{8}$, we will get matrix D of general breaks between civilizations (table 6) which consists of 12 vectors:

$$d_i = \begin{pmatrix} x_{1,i} \\ \vdots \\ x_{i-1,i} \\ 0 \\ x_{i+1,i} \\ \vdots \\ x_{12,i} \end{pmatrix}, \quad D = (d_1, \dots, d_i, \dots, d_{12}),$$

where vector i corresponds to the breaks of civilization i .

Table 6. Matrix of the general breaks between civilizations

	Western-North American	Western-European	Confucian	Japanese	Muslim-Arabic	Muslim-Turkic	Muslim-Malayan	Hindu	Slavic-East IOrthodox	Slavic-West Catholic	Latin American	African	
Western-North American	0	0,7	0,65	0,96	0,92	0,89	0,78	0,55	0,33	0,56	0,85		Western-North American
Western-European	0	0,7	0,64	0,94	0,93	0,89	0,78	0,48	0,25	0,55	0,85		Western-European
Confucian	0,7	0,7	0	0,17	0,52	0,52	0,51	0,4	0,64	0,7	0,62	0,66	Confucian
Japanese	0,65	0,64	0,17	0	0,59	0,58	0,57	0,5	0,66	0,68	0,66	0,75	Japanese
Muslim-Arabic	0,96	0,94	0,52	0,59	0	0,1	0,12	0,41	0,74	0,86	0,68	0,55	Muslim-Arabic
Muslim-Turkic	0,92	0,93	0,52	0,58	0,1	0	0,15	0,41	0,77	0,85	0,66	0,59	Muslim-Turkic
Muslim-Malayan	0,89	0,89	0,51	0,57	0,12	0,15	0	0,34	0,76	0,86	0,65	0,58	Muslim-Malayan
Hindu	0,78	0,78	0,4	0,5	0,41	0,41	0,34	0	0,72	0,79	0,63	0,63	Hindu
Slavic-East Orthodox	0,55	0,48	0,64	0,66	0,74	0,77	0,76	0,72	0	0,37	0,52	0,79	Slavic-East Orthodox
Slavic-West Catholic	0,33	0,25	0,7	0,68	0,86	0,85	0,86	0,79	0,37	0	0,5	0,84	Slavic-West Catholic
Latin American	0,56	0,55	0,62	0,66	0,68	0,66	0,65	0,63	0,52	0,5	0	0,61	Latin American
African	0,85	0,85	0,66	0,75	0,55	0,59	0,58	0,63	0,79	0,84	0,61	0	African

The closing stage of the given research is the definition of norm in space of breaks' vectors, allowing to estimate the size of a "break", that is to calculate quantitative value of cumulative differences of the given civilization from the rest of the world. The choice of aggregation norm to significant extent influences adequacy of end results of the developed model, that is very important at reception of

integral estimation [16, 17]. In this connection the decision was accepted to choose norm from the following family of Gyolder's norms ($\|x\|_p = \sqrt[p]{\sum_i |x_i|^p}$, $p \geq 1$):

a. 1-norm (“Manhattan” norm) $\|x\|_1 = \sum_i |x_i|;$

b. 2-norm (“Euclid” norm) $\|x\|_2 = \sqrt{\sum_i |x_i|^2};$

c. ∞ -norm (“Chebyshev” norm) $\|x\|_\infty = \max |x_i|.$

It is known, that these norms are equivalent on finitely-measured vector space R^n . Proceeding from the physical content (for example if there is a conflict at least with one civilization, then it significantly influences the common civilization' position in the world) we will take the ∞ -norm (“Chebyshev” norm), which will allow to consider adequately all components of breaks' vectors and is the least by modulus ($\|x\|_\infty \leq \|x\|_2 \leq \|x\|_1$).

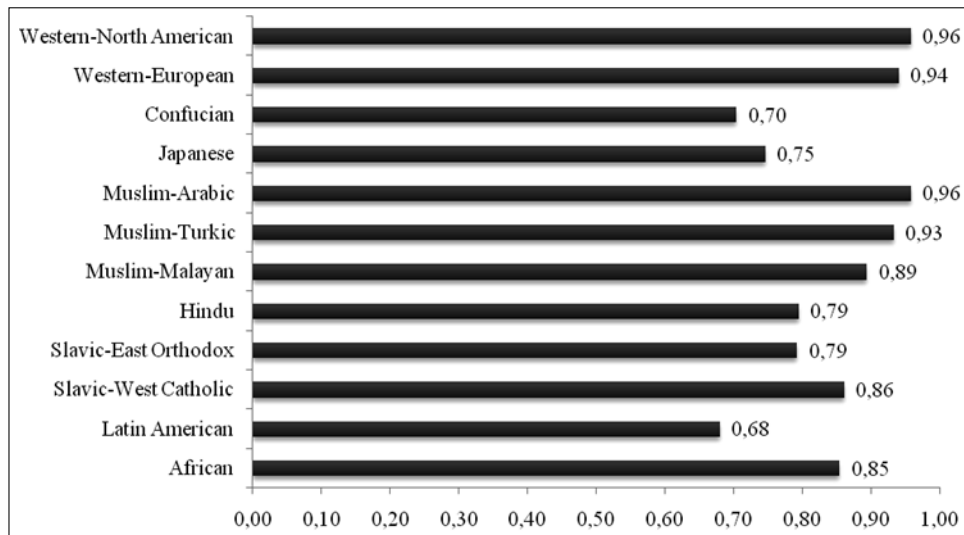


Fig. 4. Cumulative differences of civilizations from the rest of the world

The calculated values of cumulative differences of civilizations from the rest of the world are presented in fig. 4.

Actually cumulative differences of a separately taken civilization from the other world characterize, on the one hand its propensity to conflicts with other civilizations, and on the other hand — its attractiveness for the other civilizations.

THE ANALYSIS OF THE OBTAINED RESULTS

The obtained results show the existing cultural distinctions between different civilizations. Potential conflicts may take place between civilizations, first of all along the break lines, quantitative values of which are the biggest. And on the

contrary: potential civilizations' associations can take place along the break lines, quantitative values of which are the least. Using results of distances' clustering, numerical values of the common breaks between civilizations and cumulative civilizations' distinctions, we shall construct the list of possible associations and conflicts between world cultures.

Let us calculate civilizations' predispositions i_1, \dots, i_t to alliance $p_u(A_{i_1}, \dots, \dots, A_{i_t})$, by putting values of these predispositions inverse to the maximal distances between civilizations, which are in this block:

$$p_u(A_{i_1}, \dots, A_{i_t}) = 1 - \max[d(civ_a, civ_b)], \quad a, b \in i_1, \dots, i_t, \quad a \neq b.$$

Let us similarly define predispositions of civilizations to confrontations:

$$p_c(A_{i_1}, \dots, A_{i_t}) = \min[d(civ_a, civ_b)], \quad a, b \in i_1, \dots, i_t, \quad a \neq b.$$

Probable alliance and conflict civilizations' areas are given in tables 7 and 8, accordingly.

Table 7. Predisposition of civilizations to alliances

#	Block name and participating civilizations	$p_u(A)$
1.	Western block Western-North American, Western-European	1
2.	Muslim block Muslim-Arabic, Muslim-Turkic, Muslim-Malayan	0,85
3.	Confucian-Japanese block Confucian, Japanese	0,83
4.	West-Catholic block Western-North American, Western-European, Slavic-West Catholic	0,67
5.	Malayan-Hinduistic block Muslim-Malayan and Hindu	0,66
6.	Slav block Slavic-East Orthodox, Slavic-West Catholic	0,63

We see that the Western block possesses the greatest predisposition to association inside itself. High enough predisposition to internal association is observed in the Muslim block, the Confucian-Japanese block, at Malayan-Hinduistic block, and at the same time Slavs' internal association is hardly probable. Association of Western-North American, Western-European, Slavic-West Catholic civilizations under the factor of uniform Catholic religion is probable enough.

As far as oppositions are considered, the greatest propensity towards them have Western and Muslim civilizations' blocks. Western and Slavic blocks have big breaks with Islamic, Hinduistic and African civilizations. It is necessary to note the existing propensity of the Catholic block to opposition with Confucian civilization. This opposition is now observed not only in a cultures context, but also in a context of economy. Propensity to opposition between African and Hinduistic civilizations can be explained by the current strong influence of such phenomena, as racism and segregation.

Table 8. Predisposition of civilizations to confrontations

#	Confrontation name and participating civilizations	$p_c(A)$
1.	Muslim and West 1) Western-North American, Western-European 2) Muslim-Arabic, Muslim-Turkic, Muslim-Malayan	0,89
2.	Africa and West 1) Western-North American, Western-European 2) African	0,85
3.	Slav and Africa 1) Slavic-East Orthodox, Slavic-West Catholic 2) African	0,79
4.	West and Hinduism 1) Western-North American, Western-European 2) Hindu	0,78
5.	Africa and Japan 1) Japanese 2) African	0,75
6.	Muslim and Slav 1) Muslim-Arabic, Muslim-Turkic, Muslim-Malayan 2) Slavic-Eastorthodoxal, Slavic-Westcatholic	0,74
7.	Slav and Hinduism 1) Slavic-East Orthodox, Slavic-West Catholic 2) Hindu	0,72
8.	Muslim and West 1) Western-North American, Western-European 2) Muslim-Arabic, Muslim-Turkic, Muslim-Malayan	0,7

It is worth mentioning, that the most neutral civilization was found to be the Latin American, the manifestation of which is also its minimal cumulative difference from other civilizations, which is equal to 0,68 (fig. 4). It is least threatened by the oppositions with other civilizations. Further by these parameters there are countries of the Far East — Confucian (0,7) and Japanese (0,75) civilizations, then Slavic-East Orthodox and Hinduistic civilizations (both 0,79). The countries of Western (North American — 0,96, European — 0,94) and Muslim (Arabian — 0,96, Turkic — 0,93, Malayan — 0,89) blocks have the greatest propensity to oppositions. This value is also big enough for the Slavic-West Catholic civilization (0,86).

CONCLUSIONS

The proposed approach and criteria system for the estimation of the cultural distinctions between civilizations can be used in the analysis of any geopolitical situation. In particular, quantitative values of civilizations' cultural distinctions according to separate criteria can be used for prognosticating formation of various associations and world countries' alliances (military, trading, religious, and so forth). Also it is possible to use the results in behavior and development modeling of the separate world countries. For example, it is possible to use indeclinability to oppositions of the Latin American civilization at performance of the SWOT-analysis of Brazil and scenario creation of its economic growth.

But it should be noted that, to get high quality results of studying this class of systems it is necessary to attract a lot of highly skilled experts possessing a wide vision of geopolitical processes. In addition, experts in particular panels should be involved - economy, culture, security, etc.

The obtained results substantially coincide with the modern situation in the world and enable us to speak about the adequacy of the constructed model at the first approximation. The subsequent researches are possible in several directions, in particular:

- the model's modification considering countries' clustering with the use of indistinct clusters;
- use of various estimation techniques, that most fully correspond to the research objective in one modelling;
- accounting of historical dynamics, in particular, the history of world confrontations;
- creation of simulation models for the prognosis of dynamics of civilizations development;
- comparison of various models and estimation of their adequacy.

ACKNOWLEDGEMENTS

The authors gratefully thank the experts A. Gorobets, Yu. Danik, A. Dzeban', P. Zhovnirenko, I. Zastava, D. Kolesnuk, I. Kresina, N. Podalyak, A. Poltoratsky, A. Postupny, A. Poukh, M. Taran, A. Tolpiga, V. Fesenko, V. Shilov. We also thank the rector of Diplomatic Academy at Ministry of Foreign Affairs of Ukraine Boris Gumenyuk, professor of the academy Alexandr Sosnin and students of the academy Elena Diak, Tatiana Kulik, Roman Fedoniuk who worked with the experts and considerably improved the evaluation forms which were offered to the group of experts.

REFERENCES

1. *John D. Williams*. The Complete Strategist: Being a Primer on the Theory of Games of Strategy. — McGraw-Hill: Revised edition, 1965. — 268 p.
2. *Thomas C. Schelling*. The Strategy of Conflict. — Harvard University Press, 1980. — 373 p.
3. *Jay W. Forrester*. World Dynamics. — Cambridge, Mass.: Productivity Press; 2nd edition, 1971. — 141 p.
4. *Donella H. Meadows, Dennis L. Meadows, Jorgen Randers, William W. Berners III*. The Limits To Growth. — Universe Books, 1972. — 205 p.
5. *Zgurovsky M.Z., Pankratova N.D.* System Analysis: Theory and Applications. — Springer, 2007. — 448 p.
6. *Monty G. Marshall and Jack Goldstone*. Global Report on Conflict, Governance and State Fragility 2007, Foreign Policy Bulletin (2007), 17: 3–21 Cambridge University Press.
7. *James D. Davidson, William Rees-Mogg*. The Sovereign Individual. — Touchstone, 1997. — 416 p.
8. *Francis Fukuyama*. The End of History and the Last Man. — Free Press, 1992. — 448 p.

9. *Hans Rosling*. New insights on poverty and life around the world — TED Talks, 2007. — http://www.ted.com/index.php/talks/hans_rosling_reveals_new_insights_on_poverty.html.
10. *Samuel Huntington*. The Clash of the Civilizations and the Remaking of World Order. — Simon & Schuster; 1 edition, 1998. — 368 p.
11. *David Wilkinson*. Civilizations as Networks: Trade, War, Diplomacy, Command-Control-States-systems Bonded by Influence, Alliance, and War relations. — Complexity. — 2003. — **8**, № 1. — P. 82–86.
12. *Хантингтон С.* Столкновение цивилизаций? // Полис. — 1994. — № 1. — С. 33–48.
13. *Arnold J. Toynbee*. A Study of History. — Oxford University Press, 1987, 640 p. (Vol. I–VI) & 432 p. (Vol. VII–X).
14. *Макаренко А.С.* Модели общественных явлений и сценарные подходы в принятии решений // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2003. — № 3. — С. 127–142.
15. *Zgurovsky M.Z., Gvishiani A.D.* Sustainable Development Global Simulation: Quality of Life and Security of World Population (2005-2007/2008). — Kyiv: Publishing House “Polytekhnik”, 2008. — 338 p.
16. *Sieracki J.M.*. Greedy Adaptive Discrimination: Signal component analysis by simultaneous matching pursuits with application to ECoG signature detection. — PhD dissertation, University of Maryland, College Park, 2002.
17. *Загоруйко Н.Г.* Прикладные методы анализа данных и знаний. — Новосибирск: Изд-во Ин-та математики, 1999. — С. 36–61.

Поступила 12.12.2008

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



УДК 681.3.07

**INTEGRATING UKRAINE INTO EUROPEAN GRID
INFRASTRUCTURE**

**A. ZAGORODNY, M. ZGUROVSKY, G. ZINOVJEV,
E. MARTYNOV, A. PETRENKO**

Ukrainian Grid community has established Ukrainian National Grid Initiative (UNGI) which has joined up the major active European projects EGEE and EGI. The community of objectives based on the involvement in world leading scientific projects is elucidated. General features of UNGI and European Grid structures and projects together with various Grid-based applications supported by UNGI are discussed. Current UNGI activities and its future plans in view of realistic computational and human resources are described. The problems and prospects of rapidly progressing Ukrainian Grid infrastructure on the way of international cooperation and integration are illuminated.

INTRODUCTION

The rapid progress of Grid technologies initiated in 1998 by the pioneering book by I. Foster and C. Kesselman has quickly led to the understanding that high-productive distributed computations are the natural ground of future development in research and practical applications of fundamental knowledge about animate and inanimate nature. The Grid technologies enabled to solve such scientific and technical tasks which required before the impossibly large amount of computing time even at using super-powerful supercomputers. It is enough indicative to mention the examples of exploring the NH5NA1 bird flew, or decoding the genomes of plants and animals. The tasks which required the tens and hundreds years for the modern computers to work continuously are solved in a few weeks or months.

The Grid technologies available for solving scientific, practical and social tasks, economic planning and prognostication put on the agenda in developed countries the creation of effectively functioning Grid infrastructures which unite the computational resources of scientific, educational and industrial spheres. Traditionally, so large-scale projects begin their life in the scientific research sector (as it happened to the electronic mail and Internet), but then they spread fast on all the spheres of social activity. In case of the Grid technologies the Internet history has recurred but it has occurred even with faster steps what is confirmed by a growth of investments into the Grid technology sector. In 2003 it was invested about \$300 million into Grid technologies, in 2006 it was already \$1.8 billion and according to the predictions for 2011 it can be about \$25 billion [1].

Many countries, having begun with implementing the separate Grid projects dedicated to the scientific research (physics, biology, geophysics, etc.), are actively working to establish the national Grid infrastructures which enable to use the existing computational resources of the countries even in more effective and comprehensive way. At the same time the process of uniting the national Grids into the global world Grid infrastructures takes place. In Europe, under the aegis of European Commission, the EGI (European Grid Initiative) organization [2] is established and today it includes National Grids of 38 European countries. EGI is at the stage of formation but there are no doubts this organization will be running full profile already in 2010 as it is planned. Certainly, with such an organization acting the common European computational resource will provide very powerful impact on further scientific and social integration of European countries.

In this paper we present the process of implementing the Grid technologies in Ukraine focusing on the difficulties faced and the positive experience gained. After the brief historical introduction we describe the current status of Grid in Ukraine, discuss the possible ways of its development and propose the concrete practical steps to speed up an activity of bringing this powerful instrument to the scientific research and practical applications. We emphasize the specific aspects of what Ukraine could effectively use from the world experience of exploiting the Grid technologies and what Ukraine could propose to the world Grid society.

1. HISTORY AND STATUS OF GRID TECHNOLOGIES IN UKRAINE

The Grid history in Ukraine is very short and starts from two projects which at the beginning were independently developing because the corresponding communities have demonstrated different professional interests. National Academy of Sciences of Ukraine (NASU) has started in 2005 and Ministry of Education and Science of Ukraine (MESU) has launched the project up in 2006. We briefly consider the status of both projects today.

1.1. Project of NASU

The first computational clusters in Ukraine appeared at the commencement of current century and, in particular, the first Grid cluster was put to operation in 2004 in National Scientific Technical Center “Kharkiv Institute of Physics and Technology” (KIPT). The process of creating was strongly supported and assisted by the experts of Joint Institute for Nuclear Research (JINR, Russia) and Moscow State University (MSU).

KIPT within the collaborative work for future CMS experiment at CERN. The cluster was registered and successfully operates today as the resource pledged by Russia-Dubna Intensive Grid (RDIG) organization.

In 2005 due to an initiative of Bogolubov Institute for Theoretical Physics (BITP) of NASU the systematic building of Grid clusters and creation of the academic Grid infrastructure have started. The first cluster was built at BITP in 2005 and was immediately pledged as the Grid resource of the ALICE Collaboration at CERN together with the cluster of Taras Shevchenko Kiev National University (KNU).

In 2006 NASU approved the Program “**Grid technologies implementation and cluster building in Ukraine**” which is almost completed today. In the course

of this program realization the academic Grid infrastructure uniting computational resources of 16 academic institutes was established. It provides those institutes with the corresponding services for the research in physics, astronomy, biology and informatics and their intensive cooperation with the international partners. We expect another five academic clusters will join this project until the end of this year. Then common computational resource of Ukrainian Academic Grid (UAG) will consist of about 1500 processor cores and more than 150 TB of disk space for data storing (see <http://uag.bitp.kiev.ua>).

In two last years considerable amount of scientific tasks in physics, astrophysics and biology were successfully solved with the UAG clusters. Grid technologies were used for processing the results of satellite monitoring of surface, water and air resources of Ukraine in estimating the biological diversity in Southern regions of Ukraine. About 40000 tasks concerning the experimental program of ALICE at CERN have been solved with the UAG clusters.

The concept of further development of UAG is under the process of completing. New phase of activity envisages together with widening and strengthening the UAG infrastructure to pay more attention to the development of specialized Grid applications and the creation of virtual organizations which are occupied by the topical problems in various fields of human activity.

1.2. Project of MESU

Project of establishing the Grid infrastructure for information society development in Ukraine appeared as the part of wider task of creating educational and research segments of Ukrainian information society with two main directions: a) a wide use of information and communication technologies at all stages of scientific research and education and b) development of an information management of corresponding activities [3,4].

Main tasks *of the first direction* were

- Building Grid infrastructure for education and scientific research support.
- Infrastructural development of Ukrainian research and academic URAN net and its integration into European GEANT-2.
- Getting experience of work in Grid infrastructure and distributed information systems exploitation, developing algorithms and methods of solving applied tasks in distributed computing environment.

Second direction proposed

- Implementation of effective information management of education and science.
- Development of the means of storing, processing and open access to scientific and educational information resources (data bases, archives, electronic libraries, etc.).
- Connecting Ukrainian Grid to European Grid and to the World Data Centers net.

“National GRID infrastructure modeling for scientific research support” project. (**UGrid project** (www.grid.ntu-kpi.kiev.ua)) is dedicated to building Grid segment of MESU and exists within “State task program “Information and communication technologies in education and science for 2006—2010”. In the process of project realization the following tasks are being solved [5, 6]:

- Supporting servicing of World Data Center Ukrainian Branch (WDC UB), providing its clients with remote access to world scientific data repositories, possibility of efficient common share of computers, unique experimental sets, and devices.
 - In cooperation with NASU enhancement of the existing scientific and educational computational and communication infrastructure at national level and its connection to European Grid infrastructure.
 - Development of Certificate Authority of Open Keys in Ukraine registered in EUGridPMA.
 - Organization of national Grid infrastructure servicing by creating regional resource-operational centers and permanently working groups of supporting the necessary Grid services.
 - Assistance to creating common projects within international virtual organizations (VO).
 - Spreading in society the knowledge on Grid technologies and advantages of their use in scientific research and practical applications.

UGrid project is considerably connected with providing servicing of World Data Center Ukrainian Branch (WDC UB). Its task is, particularly, to provide clients with remote access to world scientific data repositories, possibility of efficient common share of computers, unique experimental sets and devices. WDC UB is an element of World data Centers system which is created and supported by International Council for Science. It collects, stores and exchanges data with the other Centers in wide range of research and practical applications:

UGrid project is being performed by the team of 10 different Ukrainian organizations (2 academic, 6 educational, and 2 industrial), headed by Institute for Applied System Analysis (IASA) of National Technical University of Ukraine “Kiev Polytechnic Institute”. These are NTUU “KPI”, G.E. Puhov Institute of Simulation Problems in Energetics of NASU (ISPE), Kharkiv National University of Radio Electronics (KNURE), Lviv National Technical University “Lviv Polytechnics” (NULP), Zaporozhe National Technical University (ZNTU), Donetsk National Polytechnic Institute (DonNPI), Dnipropetrovsk National Mining University (DNMU), government enterprise “Lviv Research Institute of Radio Engineering” (LRIRE) and USTAR enterprise.

Common computational resource of UGrid contains about 1000 processor cores and more than 100 TB of disk space for data storing. The cluster of NTUU “KPI” (now 688 processors) is connected to NASU clusters network. Status and perspectives of Educational Ukrainian are described in more details in [7].

1.3. Software

National Grid infrastructure of Ukraine will be grounded on the existing potential of computational and instrumental resources and data repositories of scientific and educational centers of Ukraine and the other potential participants of national Grid infrastructure. It is proposed to install gLite software in NGI what will give the possibility to use the latest achievements in middleware development, to build safe, flexible and well-scalable Grid environment and also to avoid excess obstacles and interaction with the other infrastructures within EGEE project and the other European projects.

Today the academic Grid works under the direction of ARC NorduGrid (gLite is installed on clusters of KIPT and KNU and is being tested). It is known that some international virtual organizations work with software different from gLite. Obviously, it would be reasonable to build infrastructure in that way that different Grid software could function there simultaneously and transparently for users.

The basic terms at common use of several Grid infrastructures are “**interoperability**” and “**interoperation**”. The interoperability is defined as possibility of Grid systems to exchange information and use the exchanged information. The interoperation is defined as possibility of Grid systems to interact. Providing of interoperability is the first and necessary step on the way to the Grid systems interaction.

This problem was explored and already partially solved in KIPT. To provide interoperability between the main infrastructure of NASU under the direction of NorduGrid ARC (testing the institute sites which work under the direction of Globus software [8]) it was decided to choose adapters and translators, because this method is being successfully used for solving such tasks. It was necessary to design full-grown adapter which working on the level higher than middleware would have its resource broker and its own scheduler along with user's interface convenient enough.

The program product GridWay was chosen for adapter. At the moment of beginning the work with GridWay in NASU NorduGrid ARC software was not included into the list of software supported in the basic version. To provide interoperability between ARC and Globus, taking into account peculiarities, caused by the given NorduGrid ARC software, information, transport and executive modules which use GridWay, were changed or developed. Information and transport ARC system has much common with analogical systems, based on Globus, that is why information and transport access drivers which are the components of GridWay, required modification only. What for executive ARC system, it is created in different way than executive component of Globus and executive ARC access modulus must have been re-written.

The put task was successfully solved, and test exploitation showed that KIPT users, by the help of mega scheduler, can send their tasks to the main NASU infrastructure as well as to KIPT test sites. Work on software interoperability improvement is in progress.

The SDGrid portal (www.sdgrid.org.ua) for access to Grid infrastructure was developed under Ugrid project as the single point of users' access to multiple information resources and applications which will be set in operation in resource-operational centers for users' service and training. SDGrid portal was built on GridSphere 3 with applications for gLite, Globus 2 and Globus 4 software supporting, and GridSphere provides the developers with highly effective mechanism in developing new applications which use the portlet system.

In order to give to the researchers a possibility to use the Grid computing resources in habitual working environments the NetSolve software was installed on NTUU “KPI” cluster. Now an user (working say with MATHLAB) doesn't care where he is situated, how he detects and calls for the needed Grid resource; he only points the criteria necessary to choose this resource, and further interacts with this resource in the same way as with the local resources (procedures, classes, programs) of his working environment.

1.4. Internet channels in NASU and MESU

It is well known that Grid infrastructure can work effectively only with the high-speed Internet channels available. The fiber optic channels with corresponding equipment satisfy the modern claims to capacity of channels (from tens of Mbps to tens of Gbps). Such channels are at disposal of URANET (which services mainly academic institutes) and URAN (which works mainly with educational structures). Inter-regional net of these providers which covers the territory of Ukraine, is shown in fig. 1. URAN and URANET have also the branched subnets in the lines of Ukrainian cities.



Fig. 1. Fiber optic channels for UNGI

Grid clusters of academic net are connected with channels with capacity of 100 Mbps. It must be emphasized this inner traffic is provided by URANET free for the academic Grid clusters. Foreseeing the considerable increase of the amount of clusters in educational structures of MESU and the other organizations which occurs if the State program (see paragraph 2.2) approved the questions of upgrading and intensifying the Grid infrastructure communication sector must be posed already now.

Among the first and foremost tasks in this direction the following ones should be mentioned:

1. Increasing the capacity of inter-regional and intracity channels no less than to 1 Gbit/sec. There are two aspects here, technical and financial. The technical component (laying the new or replacing the existing fiber optic channels and installation of the corresponding equipment) can be solved at the expense of the State program means. The payment of required traffic by cluster owners is (at current prices and level of financing the budgetary organizations) the great problem which should be solved in a centralized way. This question is now at the stage of discussing and searching the possible ways of solution.

2. The channels of going out the Ukraine bounds require a serious improvement (strengthening). Now the agreement is signed between URAN and GEANT-

2 which claims Ukraine is provided by all the attainments of European academic net, but the main problem here is payment for traffic, again. It appears that at current financial opportunities of the NASU institutes it is more profitable to use the other channels of going out of the Ukraine boundaries.

So today we see unfortunately more problems than achievements in National Grid communication sector. But we are sure these problems will be resolved in the nearest future.

2. UKRAINIAN NATIONAL GRID

2.1. Necessity, tasks and goals

Information technologies have already begun the inalienable part of economical and social life of modern society, but many countries feel the deficit of information, computing capacities for research and a progress in solving actual scientific-technical and social problems. The number of different tasks which are solved by the using the computers, their complexity and resource-intensiveness are rapidly increasing. The tasks which cannot be solved for reasonable time by the personal computers or in the separate computer centers appears more often. Such tasks include, for example, online maximally detailed environment monitoring, real-time mode control of increasing transport threads, modeling of complex processes in modern high-technology production, economic and social prognosis. The examples of scientific problems, such as experimental data processing and analysis in high energy physics, deciphering animals and plants genomes, new medical products modeling and constructing, have already become proverbial. There are not enough the supercomputers in Ukraine which can be compared to the best world examples that is why in order to solve aforementioned and similar tasks the other methods must be used. There are the Grid technologies which can and must soften and, perhaps, remove the deficit of highest class computational resources in Ukraine.

In conditions of world economy globalization, growth of world companies and corporations with geographically distributed departments, the role of distributed control systems increases. In their activity planning, it is necessary to take into account not only the market needs, but also the peculiarities and state of economies of many countries and regions of the world. Analysis of such polyvalent tasks can be the most effective at uniting efforts of groups and collectives from many countries. Similarly, the share of large international projects increases in scientific research.

WLCG (Worldwide LHC Computing Grid) and EGEE (Enabling Grids for E-science) projects are the examples of modern level of different institutes and laboratories cooperation for running large-scale scientific research. It is notable, that in EGEE, range of interests and application being developed spread from micro and macro world problems to tasks of medicine, business, and industry.

Thus, the necessity of creating National Grid infrastructure in Ukraine is conditioned by both internal and external factors. The task actuality and Ukrainian Grid availability don't even require the detailed documentation; it is enough to refer to world tendencies in the field of information computing technologies.

The main goals of national Ukrainian Grid are:

1) creating the powerful information computing environment for solving scientific and practical computer tasks of any complexity;

2) providing the wide access to computational resources for specialists who need extraordinary computational capacities for research and solving scientific, scientific-technical and the other tasks;

3) integrating the Ukrainian institutes, establishments and separate specialists into the world Grid community, their participation in the international research and technical projects.

2.2. Program of Grid technology development in Ukraine

Bogolyubov Institute for Theoretical Physics of NASU propounded the initiative to develop the State scientific-technical Program of Grid technology development in Ukraine. Such a Program was oriented in the name of NASU and MESU and presented to the Cabinet of Ministers of Ukraine. It is assumed that Program will be financed mainly from state budget, and that it will be performed during five years starting on 2009.

The modern state of Grid technologies in Ukraine is represented in the Program in the following way. *“The main problem is that for now in Ukraine exists the critical need of using modern information-communication technologies (in the first place, Grid technologies) for processing the super large arrays in the interests of science, industry, and social sphere, but the necessary national Grid structure is absent. Presence of such infrastructure separate elements does not meet the modern level of Grid technologies development, and does not assist to solving the whole line of actual scientific, scientific-technical and some other problems, holds back European integration processes in these fields”*.

In Program the reasons of such a state are analyzed, necessity of building National Grid is proved, fields of possible use of Grid technologies are enumerated, economical and social gains which can be received as the result of Program execution, are stressed.

“Goal of the program is national Grid infrastructure creation, and wide implementation of Grid technologies into all the spheres of social-economical life in Ukraine.

Program priority tasks are:

1. *creation the system, taking into account the information safety providing, integration of necessary elements of one national Grid: computing, communication and program resources;*

2. *Grid technologies adaptation and application in Ukrainian multi-processor computational systems;*

3. *Grid technologies implementation and application in scientific research, integration of Ukrainian scientific establishments into the world scientific space, attraction of Ukrainian scientists to participation in modern unique experiments and computer processing of their results, to participation in virtual scientific forums;*

4. *implementation of new methods of population medical service (creation of distributed diagnostic data bases, consultation with the use of telecommunication means, including large scale computer data analysis);*

5. *providing efficient, real-time processing the results of geophysical, meteorological, and space observations;*

6. creating conditions for grid technologies implementation in economics, industry, financial activity, and social sphere;

7. creating the system of training specialists for the work with grid technologies.

Computer resources, different at technical realization and at the type of construction with the purpose of providing user with the aggregate computer resource, will be united into the single system. User will get service from grid infrastructure as from the system in whole, independently on where and what computer stores or processes his information, what transmission lines work at this. Creating such systems will radically increase the efficiency of using the aggregate computer resources of the country, will give in the main new possibilities for solving the complex scientific-technical and practical tasks and problems.”

2.3. Premises for UNGI creation

The decision was taken to create Ukrainian National Grid proceeding from the existing projects: NASU and MESU and to use the already existing and working Grid infrastructure of National Academy of Science as the basis.

Due to the terminology accepted in EGI the infrastructure being created received the name **Ukrainian National Grid Initiative (UNGI)**. Each project as it was already mentioned above has features and properties which can provide UNGI functionality and efficiency:

NASU

High-productive computational resources.
Practical experience of creating academic Grid infrastructure.
International relations, participation in CERN and WLCG work.
Presence of specialists on computer technologies in specialized institutes of NASU.
Experience in scientific computer applications development.
Develop the UARNET communication network.

MESU

Powerful KPI computational cluster.
Wide net of educational resources in the country regions.
Possibility of training the specialists in the Grid technologies.
Experience of solving computer tasks in technical applications.
Certification Center, collaboration with EUGridPMA.
World data Center Ukrainian Branch.
Telecommunication URAN worknet, collaboration with GEANT.

The Grid network created in NASU exists less than three years but in spite of limited financing it was turned into rather powerful computational resource. It is expected that in the nearest future it will be considerably increased. For the time being ARC NorduGrid is mainly used in UAG but on some nodes gLite software is already installed; it was accepted as a standard in European Grid organizations. High speed optical channels for UAG are supported by UARNET - (Ukrainian Academic & Research NETwork) State enterprise and Scientific-communication center. It is very important that, understanding the Grid technologies prospect and being the establishment created in NAS of Ukraine, UARNET granted free traffic on speed 100 Mbps for connection between clusters of NAS of Ukraine. Thus, the basis of national Grid resource-technical base already exists. There are specialists (though few for now) who have almost mastered Grid technologies, and can share their knowledge with all the future participants of UNGI.

It must be noted that UAG is the infrastructure intended mainly for solving tasks of computational character though the possibilities of Grid technologies are much wider. Using the Grid technologies in the tasks of technological and social processes control, in medical service, in the system of electronic libraries and museums, in banking, transport and may other spheres has big perspectives as the world experience shows. For example, it is a need in organizing information-computing support of special equipment of collective use. The devices of such a kind include telescopes, microscopes, measuring equipment, research platforms, controlled machines, sensors, etc.

World Data Center (WDC) began its autonomic work in Ukraine from 2008. Ukrainian scientists and specialists can now count on using the large data volumes from different fields which can be processed in united cluster network. At creating Ukrainian WDC the following tasks were put: creation of analytic system for data initial collecting and processing; data sources search; establishing direct and feedback between the centers, design and development of data base subject to information objects safekeeping; data base completion with information objects; design and development of corresponding software. All these tasks and problems expect international cooperation at their solving. As Ukrainian WDC is created at NTUU “Kiev Polytechnic Institute”, which is the basic one in MESU project, it is natural to expect that directions of UNGI activity close to it will be performed by specialists from NTUU “KPI”.

Undoubtedly, part of the UNGI work important in the education is also the sphere of responsibility of that UNGI part which grows out of the MESU project. Certainly, in the process of educating the specialists on Grid technologies, NASU will not stand by but in the conditions of Grid technologies use, educational base, programs, and tutorials must be created mainly in educational establishments.

In the plans of UNGI development considerable place is occupied by using of information-computing technologies of Medical Sciences (Ministry of Health of Ukraine) from medicine clinics and hospitals will be interested to use The Grid infrastructure of Ukraine to raise the level of servicing patients to the far higher, system level.

In the institutes of NASU, the educational institutes and universities of MESU and also in establishments of the other ministries and departments there are many computer specialists of a very high level. It is also necessary to organize the work in such a way to arouse these experts interest in new technologies to demonstrate perspectives and possibilities. The very considerable aspect must be development and realization of the new specialist training programs in higher educational establishments. No doubt that Grid technologies implementation will require a great number of young ambitious people to this new IT sphere. Taking into account novelty of the matter, perspectives and world tendencies in the field of Grid technologies, it must be achieved that the staff of any institute, university, establishment which has computing resources, were jobs of system administrators with the level of salary which will eliminate the large wastage of such specialists into commercial structures where IT specialist’s wage fund is much higher now.

2.4. Principles of UNGI creation and functioning

Defining the principles of national Grid infrastructure organization and work, we came from understanding that Grid infrastructure and three its components (com-

putational resources, software, communication channels) must meet the following requirements:

1. wide representation of academic, educational, industrial and the other components of society;
2. support of the infrastructure development on the state level program;
3. international standards of Grid infrastructure control and work;
4. affirmed center for international certificate authorities;
5. high level of computer safety;
6. high speed Internet channels and connection to European GEANT network.

Taking into account the fact that national Grid infrastructure will be built as interdepartmental organization we consider that it must have multilevel hierarchy with the elements of centralized management which takes into account peculiarities of Grid technologies use in different departments and regions. This is the variant which will enable to take in account maximally the specific conditions and demands of the UNGI participants not only during the exploitation but also at the stage of design, it will provide fast users integration into the international Grid projects and organizations.

According to Memorandum which was signed by each participant UNGI is the voluntary, equal in rights association of scientific-technical, educational, industrial, and the organizations of Ukraine interested in development and implementation of Grid technologies in their activity, in integration with European and world Grid society. UNGI is the continuously working association opened at every stage of its development for attracting new participants from Ukraine. It is expected that, besides academic and educational establishments, UNGI will include establishments from Ministry of Health, Ministry of Transport and Communication, Ministry of Economics, National Space Agency, and many other departments (fig. 2). Virtual organizations formed within UNGI can interact with international VOs both directly and through UNGI coordinating bodies.

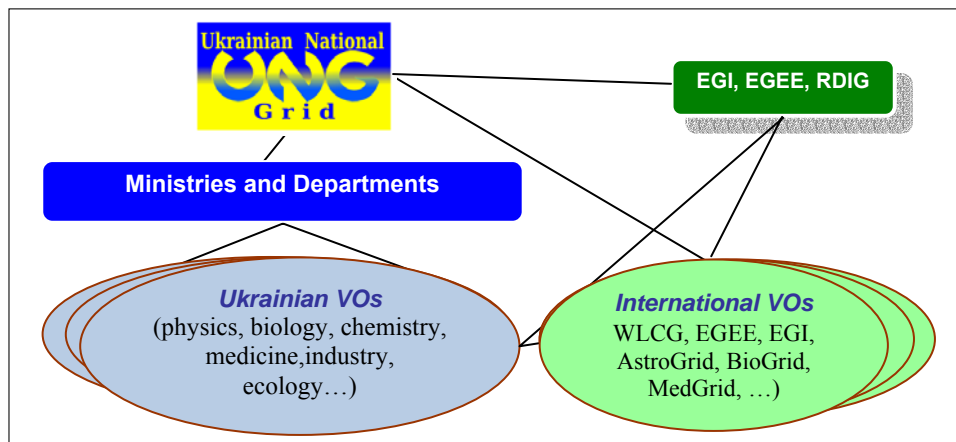


Fig. 2. UNGI and interaction between Ukrainian and international VOs

Organizationally (scheme is given in fig. 3), the work of UNGI is defined by Coordination Council, where all the participants of integration are represented. Coordination Council elaborates strategy and tactics of UNGI development and activity, works out principal decisions which are proposed for approval at general meeting or at UNGI conference which are held at least once a year. Coordination

Council, together with educational establishments, elaborates politics and educational programs in the sphere of training the specialists on Grid technologies.

UNGI executive committee realizes all the current UNGI activity, provides financing of projects, supports international contracts, gives needed assistance to work groups on all levels.

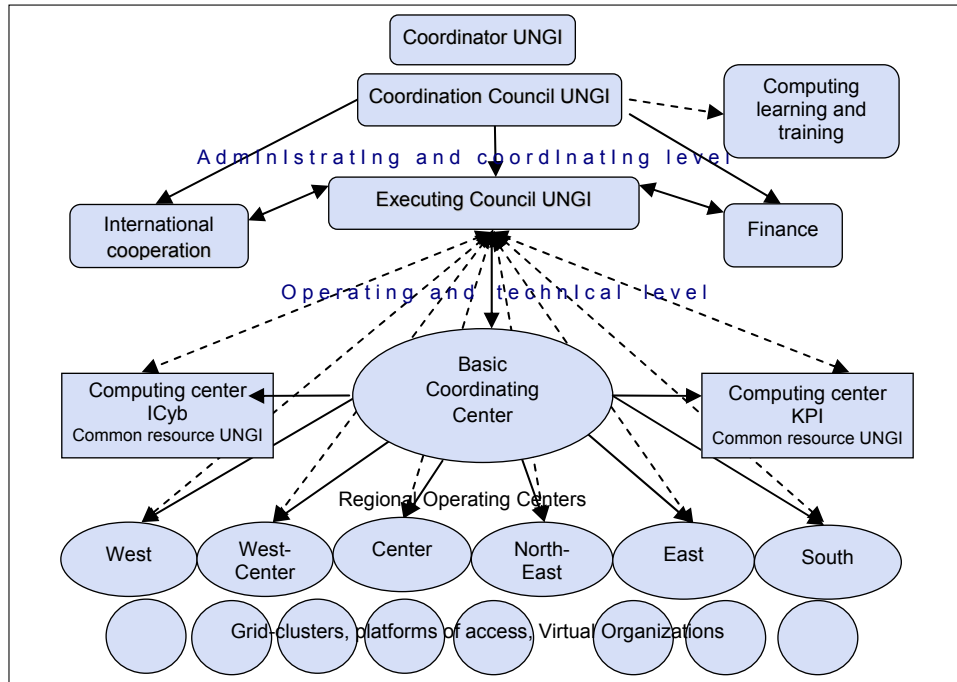


Fig. 3. Ukrainian national Grid hierarchical structure

The UNGI functioning as an infrastructure is coordinated by Basic Coordinating Center (BCC) which consists of working groups dealing with research, technical and software support of all the infrastructure elements.

It is expected that UNGI BCC will be created on the basis of structures of the existing Ukrainian Academic Grid control. Range of Center tasks include:

1. creation and development of regional resource centers;
2. providing of basic and regional centers uninterrupted functioning; development of Ukrainian Grid segment net infrastructure;
3. integration with the resources of EGEE and the other international Grid projects and organizations;
4. testing and certification of Grid clusters and software;
5. registration and support of users and virtual organizations, archiving of reserve copies and access protocols, monitoring, auditing.

The main work on support of full-functional, stable and safe UNGI work is entrusted to working groups who work within BCOG as well as within ROC along with Virtual Organizations Resource Centers (VORC). These groups are created at activity directions, and it is not necessary that group members are concentrated in one establishment. Let us note that the proposed system of working groups is till the certain point similar to that accepted in EGEE (NA, SA, JRA directions). Such system fully corresponds with distributed nature of Grid infrastructure itself, and allows to involve the most qualified experts into solving of

the tasks. Moreover, e.g., the task of permanent monitoring of the work of all infrastructure elements and services can be executed in turn by specialists from different Grid nodes.

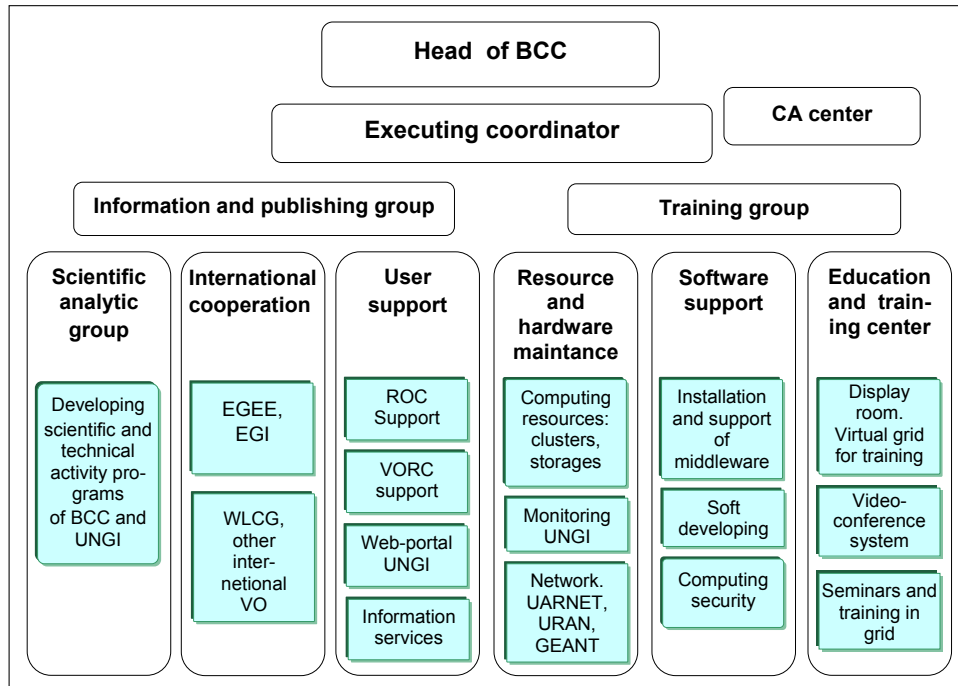


Fig. 4. Contents and functions of UNGI Basic Coordinating Center working groups

Exemplary contents of BCC working groups and their main functions are shown on fig. 4. ROC have similar structure (perhaps, with less number of groups and functions). Certainly, in the process of program realization, contents and tasks of the groups will be defined more exactly.

3. UNGI AND WORLD GRID SOCIETY

On April 25, 2005, Ukraine became officially the member of WLCG (Worldwide LHC Computing Grid) which is for now the largest thematic Grid organization in the world. The goal of WLCG is processing and analysis of experimental data which will be coming from ATLAS, ALICE, CMS, LHCb, TOTEM LHCf detectors installed in the LHC accelerator tunnel. More in detail, cluster of KPTU is being prepared for CMS experiment data processing. In AliEnGrid infrastructure which provides computational support of ALICE experiment, participants are Institute of Theoretical Physics, Institute of Cybernetics and Kiev National University. Clusters of Kiev Polytechnic Institute and Institute of Scintillation Materials are connected also. The considerable obstacle for more efficient participation of the Ukrainian Grid clusters in CERN program is not enough capacity of the Internet channels which connect clusters with CERN. The main peculiarity of tasks is large data thread at loading and at finishing the tasks being solved. For efficient task performing, high (0.1 – 0.2 Gbps) peak traffic through the channel is needed. For now, question of payment for such traffic is not solved.

In October 2007, at EGEE conference in Budapest it was announced that Ukraine had become the associated member of this influential Grid project. Within EGEE Ukrainian scientists intend to take part in the next directions and working groups.

NA2 — control and coordination of Grid infrastructure activity on regional level, creation of the site under the guise of UNGI-EGEE. Preparation of reports, publications and materials about UNGI group, contacts with local information agencies in order to spread information about the activity of UNGI and EGEE, translation of EGEE documents, popularization of the knowledge on Grid technologies.

NA3 — creation of central and regional Grid training centers. Development of teaching materials (presentations, lectures, Web pages, tutorials), holding regular seminars on theory and practice of Grid technologies. Creating virtual Grid systems and thematic virtual organizations for practical learning in center and regions.

SA1 — accounting management and support in UNGI. Interaction with national and international Grids, creation, coordination, and support of national Grid applications. Software support and deployment for UNGI sites, Grid services providing and national Grid infrastructure monitoring. Giving online assistance to UNGI users. Creating regional ticketing system and UNGI cooperation with GGUS. Coordination of all computer safety aspects in UNGI.

SA2 — operational procedures updating and improvement. Procedures standardization, and interaction of different Grid systems. Relationship between users and providers.

SA3 — creation of administration system for timely elimination of problems which appear on UNGI sites.

SA4 — introduction and adaptation of GILDA software into UNGI, operational support of GILDA portal in UNGI.

In May 2007, Ukraine signed Memorandum on UNGI participation in pan-European EGI organization which is being created. According to plan, this organization is at stage of forming and developing the activity program till 2010, and then, after finishing the EGEE-III project, it will take all the EGEE functions. Ukraine takes part in discussing the EGI program, and it will continue the work which it performs and plans to perform within EGEE. It is expected that, by developing and activating UNGI, Ukrainian participants will enhance involvement in EGEE and EGI, taking part in the other working groups, besides the aforementioned ones.

The main astronomic observatory of NAS of Ukraine signed the agreement, and together with AstroGrid-D develops the European system of specialized GRAPE/GPU Grid clusters which are used extremely effectively for solving the line of astrophysical and astronomical tasks.

Institutes of biological specialization of NAS of Ukraine began actively to establish contacts with Grid projects the goal of which is solving scientific and practical problems in life sciences. In UNGI plans, the wish to collaborate with foreign colleagues in Grid technologies applications of practical medicine is marked.

Institute for Space Research began the fruitful collaboration with Chinese colleagues in the sphere of geosciences. In particular, there were performed monitoring, including that by the help of satellite observations data, and research of water resources of surface of someone (dangerous because of possible floods)

water resources of different regions in Ukraine and China. Negotiations are hold about creating the virtual organization which would focus n geophysical research, within EGEE.

National technical university “Kiev Polytechnic Institute” has joined the Association of universities of countries of the black Sea region (Greece, Bulgaria, Romania, Moldova, Turkey and Ukraine) with a goal of research and educational resources virtualization in these universities with the help of Grid technologies for supporting joint master's degree training programs.

It is far not the full list of interests and plans of UNGI participants' international contacts, this being the proof that Ukraine has scientific and resource potential for wide participation in the international and versatile Grid projects.

CONCLUSION

Thus, summarizing all that have been said about the statues of Grid technologies in Ukraine we should assert the matter of creating full-function national Grid infrastructure is successfully completed (albeit with some delay). Initial material technical base is already created, understanding of the task importance is present, mutual understanding is achieved between the main participants and executors. There is no doubt that in the nearest future Ukrainian National Grid will demonstrate an active and fruitful work and will be reliably integrated into the European and world Grid society.

REFERENCES

1. *Grid computing. A vertical market perspective.* — <http://www.insight-corp.com>.
2. <http://web.eu-egi.eu/>.
3. *Zgurovsky M.Z.* Development of Educational and Research Segment of Information Society in Ukraine // Proc. WSIS . — Tunis. — 2004. — P. 103–107.
4. *Zgurovsky M.Z.* Development of Educational and Research Segment of Information Society in Ukraine // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2006. — № 1. — С. 7–17.
5. *Petrenko A.I.* Development of Grid-infrastructure for Educational and Research segment of Information Society in Ukraine with focus on Ecological monitoring and Telemedicine // Data Science Journal. — 6. — Supplement, 14 April 2007. — P. 583–590.
6. *Петренко А.І.* Національна Grid-інфраструктура для забезпечення наукових досліджень і освіти // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2008. — № 1. — С. 79–92.
7. *Петренко А.І.* Вступ до Grid-технологій в науці і освіті (навчальний посібник). — Київ: Політехніка. — 2008. — 124 с.
8. <http://www.globus.org/>.
9. *Huedo E., Montero R.S., Llorente I.M.* A modular meta-scheduling architecture for interfacing with pre-WS and WS Grid resource management services // Future Generation Computing Systems. — 2007. — 23, № 2. — С. 252–261.
10. <http://lcg.web.cern.ch/LCG/>.

Received 28.01.2009

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

УДК 378.112

ПРОГНОЗУВАННЯ СТАНУ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЯКІСТЮ ДІЯЛЬНОСТІ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ

В.Д. ЯКОВЕНКО, В.Д. ГОГУНСЬКИЙ

Розроблено основні принципи підвищення якості навчання на базі вдосконалення моделей та методів керування діяльністю навчального закладу. Запропоновано алгоритм визначення узагальненого показника ефективності, збалансовану систему показників (критеріїв) і кваліметричну модель оцінювання якості діяльності навчального закладу.

ВСТУП

Якість діяльності навчального закладу (НЗ) — це якість персоналу, підготовки студентів, інфраструктури, навчального середовища тощо.

Дотепер відсутні серйозні дослідження систем якості, немає загальноприйнятих формалізованих систем оцінювання якості НЗ [1]. Кількісне оцінювання (вимірювання) якості освіти відноситься до найбільш складних і найменш досліджених задач, тоді як його необхідність, актуальність і практична значущість достатньо велика.

Головною тенденцією в області гарантій якості освіти стає контроль на базі національних систем атестації і акредитації на основі моделі керування якістю, що забезпечує відповідальність НЗ. Стандарти і директиви щодо гарантії якості вищої освіти в Європейському регіоні, які розроблено ENQA, декларують, що оцінка НЗ є відправною точкою для ефективної гарантії якості [1].

Мета дослідження — удосконалення моделі визначення узагальненого показника ефективності діяльності НЗ.

Постановка завдання. Необхідно провести моделювання процесу автоматизованого керування якістю діяльності НЗ та його оцінювання.

Для цього запропоновано модель 5Н п'яти рівнів досконалості (критеріїв): 1 — незадовільно, 2 — нижче норми, 3 — норма, 4 — вище норми, 5 — набагато вище норми. Це модель послідовності вдосконалення керування якістю діяльності НЗ: певна сукупність показників і складових, які характеризують основні компоненти діяльності НЗ з позицій менеджменту якості, а також опис рівнів досконалості (кваліметричних шкал у вигляді матриць) складових, що у сукупності визначають всі процеси НЗ, направлені на досягнення необхідних результатів якості.

Для оцінки рівня досконалості системи якості за всіма показниками і складових моделі з урахуванням вимірювань розроблені спеціальні кваліметричні шкали, які вербально описують п'ять впорядкованих рівнів досконалості (критерії) або стадії розвитку показників якості діяльності НЗ та їх складових. Цим п'ятьом рівням досконалості поставлена у відповідність 5-бальна числова шкала (від 1 до 5). Залежно від повноти виконання вимог відповідного рівня досконалості за конкретним показником може бути виставлена одна з оцінок: для 1-го рівня — 1 бал (незадовільно), 2-го — 2 (нижче норми), 3-го — 3 (норма), 4-го — 4 (вище норми), 5-го — 5 (набагато вище норми (еталон)).

Перехід показника з одного рівня досконалості до наступного, вищого, здійснюється за допомогою різних методів і прийомів застосування принципів тотального менеджменту якості (TQM) і пошуку постійного поліпшення систем якості. Цей перехід значною мірою визначається якістю даного показника і залежить від того, якою мірою замовник задоволений всіма характеристиками діяльності НЗ взагалі і кожним показником окремо.

Простір досконалості діяльності НЗ розвивається як випадковий процес, хід і результат якого залежать від випадкових чинників.

В основу процесу покладено фактори, що відповідають базовим принципам TQM і вимірюються такими рівнями досконалості:

- Орієнтованість на споживачів та інших зацікавлених сторін (від мінімального задоволення вимогами галузевих стандартів до повного врахування інтересів всіх зацікавлених сторін).
- Системність вживаного підходу (від короткострокових епізодичних заходів до планування довготривалої політики і стратегії).
- Поширеність в НЗ якісного підходу до керування в різних підрозділах і процесах.
- Якість кадрового складу, залученого НЗ у відповідні процеси.
- Документованість процедур процесів (від неформального виконання до повністю документованих процесів).
- Орієнтованість на запобігання невідповідностям і постійне поліпшення, а не на виправлення проблем.

Моделлю переходу кожного показника з одного рівня досконалості на другий є модель послідовності п'яти рівнів досконалості.

У першому наближенні d_i рівні досконалості НЗ можна виразити як відношення q_i фактичного рівня задоволення потреб споживачів до q_N нормативного показника, визначеного освітньо-кваліфікаційною характеристикою фахівця

$$d_i = \frac{q_i}{q_N},$$

де i — індекс показника діяльності НЗ, $i = 1, 2, \dots, m$.

Оскільки всі показники є рівноправними, то їх вплив на узагальнену оцінку D рівня досконалості організації навчального процесу у НЗ можна розглядати за схемою паралельних процесів, для яких

$$D = 1 - \sum_{i=1}^m (1 - d_i),$$

$$D = \{p_1(t), p_2(t), p_3(t), p_4(t), p_5(t)\},$$

де d_i — вірогіднісна величина рівня досконалості НЗ за i -м показником;
 $p_j(t)$ — вірогідність знаходження об'єкта в стані j : $j = \overline{1,5}$ у момент часу t .

Модель п'яти рівнів дозволяє виконати якісну оцінку ефективності діяльності НЗ у різних напрямках і розробити найбільш ефективну стратегію просування конкретного показника на вищий рівень досконалості. Вірогіднісна суть цієї моделі може бути відображена за допомогою марковських процесів, яким властиве те, що для кожного моменту часу t_0 вірогідність будь-якого стану критерію в майбутньому при $t > t_0$ залежить тільки від її стану при $t = t_0$ і не залежить від того, коли і яким чином система прийшла в цей стан. Вказану властивість мають стани якісної моделі (рис. 1).

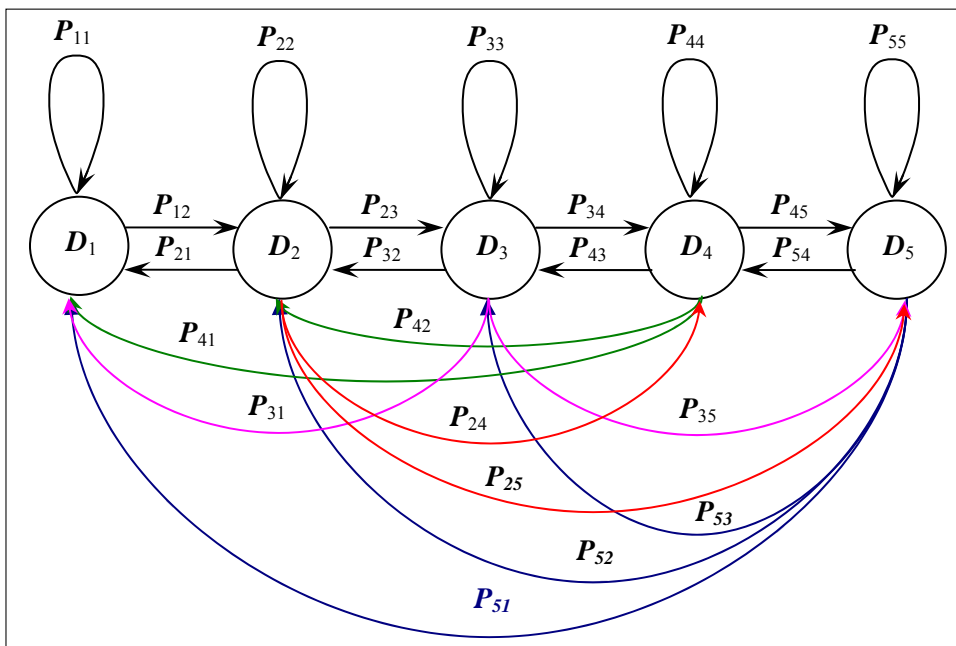


Рис. 1. Графічне представлення вірогідностей переходу у марковському ланцюгу

Опишемо однорідний марковський ланцюг з дискретним часом, який змінюється покроково за допомогою методу вірогідності станів [6]. Під кроком розумітимемо деякий комплекс реалізованих заходів (дій на об'єкт), що змінює показник D . Нехай у будь-який момент часу t (після будь-якого k -го кроку) показник D може бути в одному із станів: $D = \{D_1, D_2, \dots, D_n\}$, тобто здійсниться одна з повної групи несумісних подій: $D_1^{(k)}, D_2^{(k)}, \dots, D_n^{(k)}$. У такому випадку рівень досконалості D організації навчального процесу в НЗ може змінюватися на кожному кроці k .

$$D = \{p_1(k), p_2(k), p_3(k), p_4(k), p_5(k)\}.$$

Зазвичай оцінка досконалості D організації навчального процесу в НЗ виконується за найвищим станом $p_5(k)$.

Позначимо вірогідність знаходження об'єкта у станах $j: j = \overline{1, n}$ у моменти завершення k кроків

$$k = 1, p_1(1) = P(S_1^{(1)}), p_2(1) = P(S_2^{(1)}), \dots, p_n(1) = P(S_n^{(1)}),$$

$$k = 2, p_1(2) = P(S_1^{(2)}), p_2(2) = P(S_2^{(2)}), \dots, p_n(2) = P(S_n^{(2)}),$$

.....

$$k = l, p_1(l) = P(S_1^{(l)}), p_2(l) = P(S_2^{(l)}), \dots, p_n(l) = P(S_n^{(l)}).$$

$p_1(k), p_2(k), \dots, p_n(k)$ — вірогідності стану однорідного марковського ланцюга, в якому перехідні вірогідності не залежать від номера кроку. З огляду на властивість вірогідності несумісних дій, що створюють повну групу, для кожного кроку k

$$p_1(k) + p_2(k) + \dots + p_n(k) = 1.$$

Наведені вище залежності дозволяють виконати моделювання ефективності комплексу реалізованих заходів (дій X на конкретний критерій).

При дослідженні безперервних і дискретних випадкових ланцюгів користуються графічним представленням функціонування системи. Граф станів показника — це сукупність вершин, які зображують можливі стани показника D_j , і сукупність гілок — можливі переходи показника з одного стану в інший.

Позначимо D можливі ступені показника, викликані проведенням деяких заходів X (рис. 1): D_1 — незадовільно, D_2 — нижче норми, D_3 — норма, D_4 — вище норми, D_5 — набагато вище норми (еталон).

Стан показника представлено у вигляді графа (рис. 1), де стрілками вказано можливі переходи з одного стану в інший за один крок і перехідні вірогідності.

Випадковий процес (марковський ланцюг) можна представити як переміщення точки, що зображує показник D , по графу станів випадковим чином з перескакуванням із одного ступеня на інший у моменти t_1, t_2, \dots , які відповідають часу дії деякого комплексу реалізованих заходів. При цьому точка критерію D може затримуватися на деяке число кроків в одному і тому ж стані.

Для будь-якого кроку (моменту часу t_1, t_2, \dots, t_k) існують вірогідності переходу показника із деякого стану в інший, а також вірогідність затримки показника у даному стані. Стани показника, тобто можливі рівні досконалості, а також інструменти досягнення подібних реакцій перераховані вище. Вірогідності переходів можуть бути отримані експертними методами. На рис. 1 проставлені стрілки переходів, перехідні вірогідності яких змінюють стан показника. Значення вірогідності затримки P_{ii} доповнює до одиниці суму перехідних вірогідностей, які відповідають всім стрілкам і виходять із даного стану.

Наприклад, для стану D_1

$$P_{11} = 1 - (P_{12} + P_{13} + P_{14} + P_{15}).$$

Матриця, що містить всі можливі перехідні вірогідності марковського ланцюга (рис. 1), має вигляд

$$\|P_{ij}\| = \begin{pmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} & P_{14} & P_{15} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & P_{24} & P_{25} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} & P_{34} & P_{35} \\ P_{41} & P_{42} & P_{43} & P_{44} & P_{45} \\ P_{51} & P_{52} & P_{53} & P_{54} & P_{55} \end{pmatrix}.$$

На основі матриці перехідних станів при умові, що початковий стан показника відомо, можна знайти вірогідності станів $p_1(k), p_2(k), \dots, p_5(k)$ після кожного k -го кроку управлінських дій на даний показник. Через те що в початковий момент показник D знаходиться у стані D_1 , $p_1(0) = 1$. Вірогідності станів після першого кроку беруться з першого рядка матриці.

Вірогідності стану другого і наступного будь-якого k -го шагу [7]

$$p_i(k) = \sum_{j=1}^m [p_i(k-1)P_{ji}]_{m=5}, \quad i = 1, 2, \dots, 5.$$

Таким чином, матриця переходу дозволяє побудувати прогноз стану показника на декілька кроків вперед. Також матриця переходу дозволяє моделювати стан рівня досконалості у залежності від тих або інших дій на різні показники. Для цього достатньо задати збурення (дію) відповідної вірогідності із матриці переходу, і тоді вона дозволяє змоделювати очікувані результати різних управлінських дій на показники оцінки якості діяльності НЗ. Під дією управлінських, інвестиційних заходів, маркетингових досліджень стан показника може покращитися, стати гірше, залишитися таким самим. Припустимо, що за певним показником спостерігається негативна динаміка, що погіршує узагальнений показник якості діяльності НЗ. За допомогою матриці переходу легко визначити проблемні вірогідності переходу P_{ij} , які дають сигнал про недостатню ступінь дії на показник. Для усунення такої проблеми приймається рішення про додаткові дії на показник, що має негативну динаміку.

Побудуємо модель рівнів досконалості показника на основі матриці переходу і змоделюємо різні варіанти дій на показник, щоб досягти бажаного рівня в наступний період. Пропонується керуватися двома очевидними правилами:

1. Дії на показник збільшують вірогідність переходу на вищий рівень, тому, варіюючи вірогідності переходів в розділах матриці переходу, можна визначити необхідну кількість контактів на показник.

2. Збільшення інвестицій в діяльність НЗ покращує стан кожного показника. Варіюючи очікувану кількість вищих рівнів досконалості, можна визначити необхідну кількість дій для того, щоб узагальнений показник ефективності (УПЕ) покращився.

З урахуванням побудованої залежності збільшення вірогідності переходу від кількості дій на показник проводиться корегування значень вірогідності в матриці переходу і визначається необхідне число дій.

Отримані вірогідності всіх результатів проведеного комплексу дій дозволяють прогнозувати ефективність узагальненого показника ефективності

діяльності НЗ. На рис. 2 наведено результати моделювання станів показника у процесі проведення комплексу заходів для початкових даних — перехідної вірогідності (рис. 1).

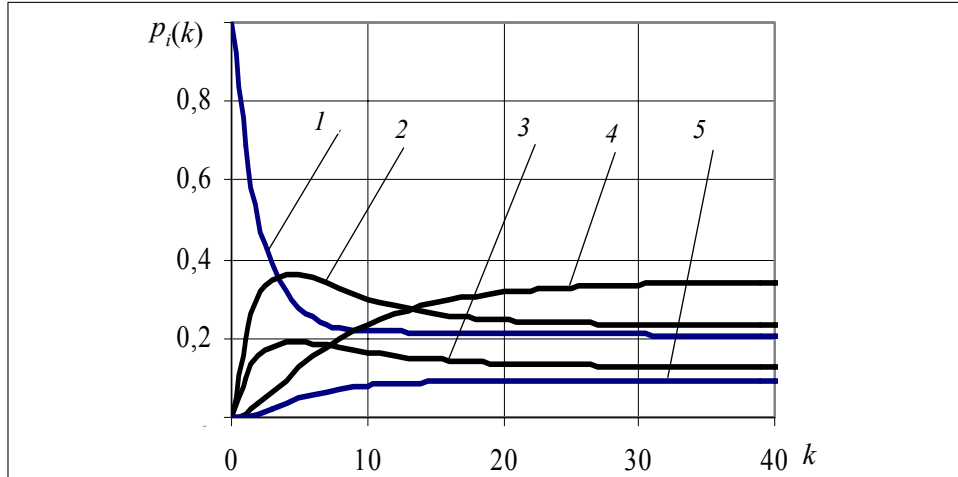


Рис. 2. Зміна вірогідності стану показника у процесі проведення комплексу засобів (дій X) при $P_{51} > 0$: 1 — незадовільно; 2 — нижче норми; 3 — норма; 4 — вище норми; 5 — набагато вище норми

Результати моделювання свідчать, що вірогідність перебування показника в нульовому (незадовільному) стані при деякій дії на цей показник достатньо швидко зменшується, досягаючи мінімального значення (крива 1). Тобто, якщо на такий показник буде здійснено дію на покращення його стану, то він не зможе залишитися у 1-му стані.

Вірогідність стану, при якому показник знаходиться в стані «нижче норми» (крива 2), спочатку збільшується до максимуму, а потім зменшується за рахунок недостатнього впливу на цей показник ефективних дій.

Вірогідність стану, при якому показник знаходиться в стані «норма» (крива 3), повторює з деяким запізненням характер зміни кривої 2, відрізняючись від неї меншим значенням вірогідності і більш плавною зміною значень, до 7-го кроку впливу ефективних дій збільшується, а потім приймає деяке постійне значення. Тому після 7-го кроку можна припинити вплив на цей показник.

Крива 4 — вірогідність стану показника «вище норми» має тенденцію на покращення вірогідності переходу показника в цей стан з кожним кроком керуючих дій на показник і через деякий час приймає постійне значення.

Крива 5 відображає ріст залежності вірогідності стану показника «набагато вище норми» від кроків ефективних дій і показує, що вірогідність переходу показника в цей стан після ряду впливових дій суттєво не збільшується, приймаючи невелике постійне значення. Ця крива відображає незначне підвищення вірогідності переходу при $P_{51} = 0,2$. Тобто, коли показник знаходиться в 1-му стані, вірогідність його переходу в стан «набагато вище норми» дуже мала і ніякі керуючі дії не зможуть позитивно вплинути на цю ситуацію.

Отримані результати підтверджують якісні оцінки, виконані з використанням моделі 5Н. Аналізуючи залежності, можна надати рекомендації

управлінському складу НЗ: не треба доводити жоден показник діяльності НЗ до незадовільного стану, тому що вивести його в позитивний стан буде складно.

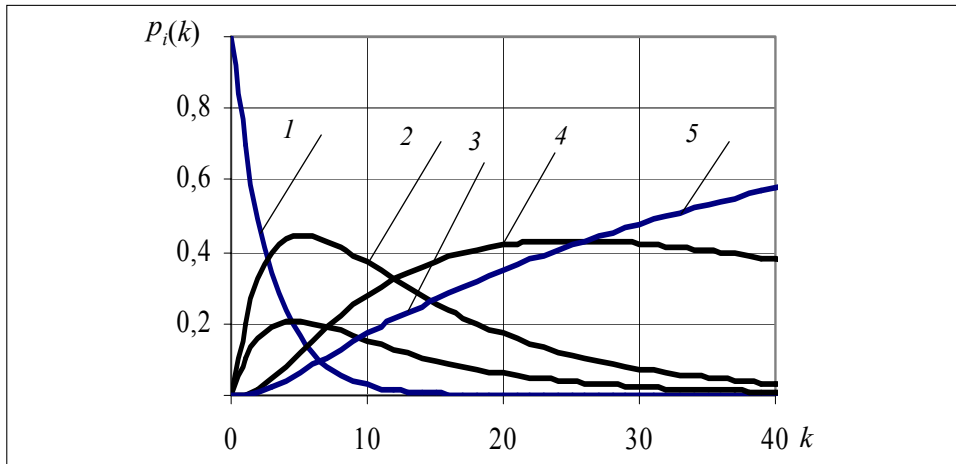


Рис. 3. Зміна вірогідності стану показника у процесі проведення комплексу засобів (дій X) при $P_{51}=0$: 1 — незадовільно; 2 — нижче норми; 3 — норма; 4 — вище норми; 5 — набагато вище норми

Змодельємо ситуацію, коли показник діяльності НЗ не знаходиться у 1-му стані, тобто $P_{51} = 0$.

Коли показник не опускається до незадовільного стану, то є вірогідність перевести його в позитивний стан, і з кожним кроком керуючих дій ця вірогідність збільшується (крива 5 — «набагато вище норми»).

Отримані результати дозволяють автору запропонувати алгоритм удосконалення УПЕ на основі прогнозування стану показників якості діяльності НЗ із застосуванням моделі 5Н (рис. 4):

- якщо при проведенні самоаналізу та при порівнянні професійної діяльності випускника з вимогами замовника і нормативними показниками спостерігається невідповідність, то особи які приймають рішення (ОПР), пропонують комплекс управлінських дій на покращення кожного показника;
- для визначення оптимального комплексу дій ОПР може спрогнозувати ці дії за допомогою моделі 5Н.

ВИСНОВКИ

Наведений метод оцінки результативності випадкових факторів, які супроводжують показники, може використовуватися в автоматизованих системах визначення УПЕ діяльності НЗ. Розроблено математичний опис моделі 5Н та рівнів досконалості її показників, що базується на випадкових факторах у вигляді марковських процесів. Запропонований підхід дозволяє моделювати параметри якісних дій, направлених на покращення рівня досконалості кожного показника. Корегуючі коефіцієнти переходу у моделі 5Н рівнів (від «незадовільно» до «набагато вище норми») на основі практичних даних можна оптимізувати управління діями, направленими на покращення рівня досконалості кожного показника, що дасть можливість підвищити узагальнений показник ефективності діяльності НЗ.

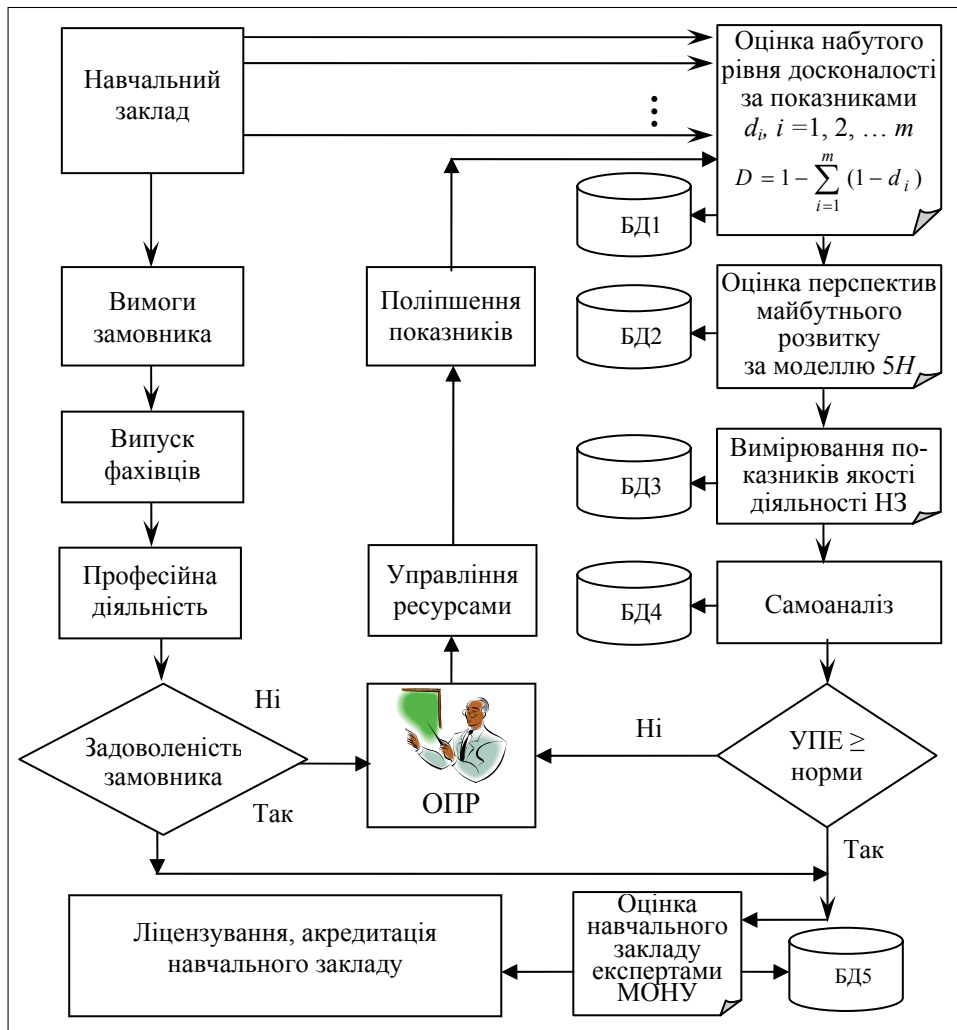


Рис. 4. Алгоритм удосконалення УПЕ на основі прогнозування стану показників якості діяльності НЗ

ЛІТЕРАТУРА

1. Стандарти і рекомендації щодо забезпечення якості в Європейському просторі освіти. — Київ: Ленвіт, 2006. — 35 с.
2. Каплан Р.С. Сбалансированная система показателей. От стратегии к действию / Пер. с англ. — 2-е изд., испр. и доп. — М.: ЗАО «Олимп – Бизнес», 2004. — 320 с.
3. Уэллс У., Бернет Дж., Мориарти С. Реклама: принципы и практика. — СПб.: Питер. — 1999. — 238 с.
4. Лебедев-Любимов А. Психология рекламы. — СПб.: Питер. — 2003. — 368 с.
5. Тарасюк Г.М. Управление проектами. — Київ: Каравела, 2004. — 344 с.
6. Вентцель Е.С. Исследование операций. — М.: Сов. радио, 1972. — 552 с.
7. Кошкин К.В. Особенности разработки и внедрения проектов информационных систем в судостроении // Тези доп. міжнар. конф. «Управление проектами: стан та перспективи». — Київ: НУК, 2005. — С. 84 – 88.
8. Качалов И., Евдокимов М. Эффективность коммуникаций: достижение заданных целей // Управление компаний. — 2001. — № 5. — С. 6 – 12.

Надійшла 30.05.2007

**ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБСЛУЖИВАНИЕ МОНОТОННОЙ
СИСТЕМЫ С УЧЕТОМ СУММАРНОЙ НАРАБОТКИ НА
ОТКАЗ КАЖДОГО ЕЕ ЭЛЕМЕНТА**

А.И. ПЕСЧАНСКИЙ

Построена полумарковская модель технического обслуживания системы параллельной структуры с учетом суммарной наработки на отказ каждого элемента. Найдены стационарные показатели качества функционирования системы. Определены оптимальные величины наработок элементов для проведения предупредительного технического обслуживания.

ВВЕДЕНИЕ

В работах [1, 2] исследована надежность некоторых конкретных, часто встречающихся на практике восстанавливаемых систем с полностью доступным восстановлением. В общих предположениях относительно времен безотказной работы и восстановления элементов системы определены основные стационарные надежностные характеристики системы: коэффициент готовности, средняя наработка на отказ и среднее время восстановления системы.

Одним из методов улучшения стационарных показателей качества функционирования системы является проведение предупредительного технического обслуживания (ТО) элементов при достижении ими определенного «возраста жизни». Такая стратегия проведения ТО элементов для системы с последовательной структурой и восстанавливаемой системы с нагруженным резервом исследована в работах [3, 4]. В данной статье результаты, полученные в [3, 4], обобщаются на случай систем с монотонной структурой [5]. Определяются стационарные и экономические показатели качества функционирования такой системы при указанной стратегии ТО ее элементов и устанавливаются оптимальные величины суммарных наработок элементов для проведения ТО с целью достижения наилучших значений стационарных характеристик.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ И ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

Рассмотрим N -компонентную систему с монотонной структурой [5]. К подобным системам относятся, например, последовательные, дублированные,

мостиковые, « P из N », а также системы с отдельно-общим резервированием.

Время безотказной работы i -го элемента системы — случайная величина (СВ) α_i с функцией распределения (ФР) $F_i(t) = P(\alpha_i \leq t)$, $i = \overline{1, N}$. Индикация отказа элемента осуществляется мгновенно, и начинается его восстановление (аварийное), которое длится случайное время β_i с ФР $G_i(t) = P(\beta_i \leq t)$, $i = \overline{1, N}$. В момент времени, когда суммарная наработка на отказ i -го элемента («продолжительность жизни») достигает уровня τ_i , начинается его предупредительное ТО, длительность которого СВ β_i^p с ФР $G_i^p(t) = P(\beta_i^p \leq t)$.

Предполагается, что все СВ независимы, имеют абсолютно непрерывные ФР и конечные математические ожидания $M\alpha_i, M\beta_i, M\beta_i^p$. Очереди на восстановление не возникает. Как после ТО, так и после аварийного восстановления, все надежность характеристики элементов полностью обновляются. Отключение и включение элементов в систему происходит мгновенно. Доход за единицу времени исправного функционирования, плата за единицу времени аварийного восстановления и за единицу времени ТО i -го элемента системы соответственно равны c_i^0, c_i и c_i^p , $i = \overline{1, N}$.

Система находится в работоспособном состоянии тогда и только тогда, когда, по крайней мере, одна из последовательных структур минимального пути [5] работоспособна. Система считается в отказе тогда и только тогда, когда, по крайней мере, одна из параллельных структур минимального сечения [5] находится в нерабочем состоянии (по причине ТО или аварийного восстановления ее элементов).

Требуется определить следующие показатели качества функционирования системы: стационарный коэффициент технического использования $K_u(\tau_1, \dots, \tau_N)$, среднюю удельную прибыль $S(\tau_1, \dots, \tau_N)$ на единицу календарного времени и средние удельные затраты $C(\tau_1, \dots, \tau_N)$ на единицу времени исправного функционирования системы, а также величины суммарных наработок τ_i элементов, при достижении которых следует проводить ТО элементов для того, чтобы указанные показатели качества функционирования системы имели оптимальные значения.

Функционирование системы опишем полумарковским процессом $\xi(t)$ с дискретно-непрерывным фазовым пространством состояний [1,2]

$$E = \left\{ i \overline{d} x^{-(i)} \overline{u}, \quad i = \overline{1, N} \right\},$$

где компоненты вектора $\overline{d} = (d_1, \dots, d_N)$ указывают на «физические» состояния элементов: $d_k = 1$ — k -й элемент находится в работоспособном состоянии; $d_k = 0$ — аварийное восстановление; $d_k = 2$ — состояние ТО; i — номер элемента, изменившего свое «физическое» состояние последним. Компоненты вектора $\overline{x}^{-(i)}$ фиксируют время с момента последнего из-

менения состояния i -го элемента до ближайших моментов изменения состояний соответственно остальных элементов ($x_i = 0$), причем, если $d_k = 1$, то x_k — время до ближайшего аварийного отказа k -го элемента. Компоненты вектора $\bar{u} = (u_1, \dots, u_N)$ равны суммарным наработкам соответствующих элементов в момент последнего изменения состояния системы. Если $d_k = 2$, то считается, что $u_k = \tau_k$. В момент восстановления работоспособности i -го элемента после его ТО наработка этого элемента равна нулю ($u_i = 0$).

Времена пребывания системы в указанных выше состояниях определяются формулами

$$\theta_{id\bar{x}^{(i)}\bar{u}} = \gamma_i^{(d_i)} \wedge \bigwedge_{k \neq i} x_k \wedge \bigwedge_{k \in \Omega_d^1} (\tau_k - u_k),$$

где \wedge — знак минимума; Ω_d^1 — совокупность номеров компонент вектора \bar{d} , равных 1,

$$\gamma_i^{(d_i)} = \begin{cases} \alpha_i, & d_i = 1, \\ \beta_i, & d_i = 0, \\ \beta_i^p, & d_i = 2. \end{cases}$$

Предположим, что для вложенной цепи Маркова (ВЦМ) $\{\xi_n, n \geq 0\}$ выполняются условия существования и единственности стационарного распределения $\rho(\cdot)$, тогда [4]

$$\rho\left(id\bar{x}^{(i)}\bar{u}\right) = \rho \prod_{k \in \Omega_d^0} h_k(u_k) \bar{G}_k(x_k) \prod_{k \in \Omega_d^1} v_k(u_k, x_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} \bar{G}_k^p(x_k), \quad k = \overline{1, N}, \quad (1)$$

$$\rho = \frac{1}{2} \left[\sum_{i=1}^N (1 + H_i(\tau_i)) \prod_{\substack{k=1 \\ k \neq i}}^N (\tau_k + M\beta_k^p + M\beta_k H_k(\tau_k)) \right]^{-1},$$

где $\bar{G}_k(x_k) = 1 - G_k(x_k)$, $\bar{G}_k^p(x_k) = 1 - G_k^p(x_k)$; $h_k(u_k)$ — плотность функции восстановления $H_k(u_k) = \sum_{n=1}^{\infty} F^{*(n)}(u_k)$; $v_k(u_k, x_k) = f_k(u_k + x_k) + \int_0^{u_k} f_k(u_k + x_k - s) h_k(s) ds$ — плотность прямого остаточного времени восстановления рекуррентного потока, порожденного СВ α_k , $v_k(0,0) \equiv 1$; Ω_d^0 , Ω_d^2 — совокупности номеров компонент вектора \bar{d} , равных соответственно 0 и 2.

Разобьем фазовое пространство E состояний системы на два непересекающихся подмножества E_+ — работоспособных и E_- — отказовых состояний.

$$E_+ = \left\{ id\bar{x}^{(i)}\bar{u}, \bar{d} \in D_+, i = \overline{1, N} \right\}, \quad E_- = \left\{ id\bar{x}^{(i)}\bar{u}, \bar{d} \in D_-, i = \overline{1, N} \right\},$$

где $D_+(D_-)$ — множество векторов \bar{d} , компоненты которых равны кодам «физических» состояний элементов системы, находящейся в подмножестве работоспособных (отказовых) состояний $E_+(E_-)$.

Среднюю стационарную наработку на отказ T_+ , среднее стационарное время восстановления T_- и стационарный коэффициент технического использования K_u системы найдем по формулам [1, 2]

$$T_+ = \frac{\int_{E_+} m(z) \rho(dz)}{\int_{E_+} \rho(dz) P(z, E_-)}, \quad T_- = \frac{\int_{E_-} m(z) \rho(dz)}{\int_{E_-} \rho(dz) P(z, E_+)}, \quad K_u = \frac{T_+}{T_+ + T_-}, \quad (2)$$

где $\rho(\cdot)$ — стационарное распределение ВЦМ $\{\xi_n, n \geq 0\}$; $m(z)$ — средние времена пребывания в состояниях системы; $P(z, E_+)$, $(P(z, E_-))$ — вероятности переходов ВЦМ $\{\xi_n, n \geq 0\}$ из отказовых (работоспособных) состояний в работоспособные (отказовые).

С учетом стационарного распределения ВЦМ (1) формулы (2) преобразуются к виду

$$T_+ = \frac{\sum_{d \in D_+} \prod_{k \in \Omega_d^1} \tau_k \prod_{k \in \Omega_d^0} M\beta_k H_k(\tau_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} M\beta_k^p}{\sum_{d \in D_+} \sum_{j \in G(d)} (1 + H_j(\tau_j)) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq j}} \tau_k \prod_{k \in \Omega_d^0} M\beta_k H_k(\tau_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} M\beta_k^p},$$

$$T_- = \sum_{d \in D_-} \prod_{k \in \Omega_d^1} \tau_k \prod_{k \in \Omega_d^0} M\beta_k H_k(\tau_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} M\beta_k^p$$

$$\left/ \sum_{d \in D'_-} \left[\sum_{j \in I_0(d)} H_j(\tau_j) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^1 \\ k \neq j}} \tau_k \prod_{k \in \Omega_d^0} M\beta_k H_k(\tau_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} M\beta_k^p + \right. \right.$$

$$\left. \left. + \sum_{j \in I_2(d)} \prod_{k \in \Omega_d^1} \tau_k \prod_{k \in \Omega_d^0} M\beta_k H_k(\tau_k) \prod_{\substack{k \in \Omega_d^2 \\ k \neq j}} M\beta_k^p \right] \right.$$

$$K_u(\tau_1, \dots, \tau_N) = \frac{\sum_{d \in D_+} \prod_{k \in \Omega_d^1} \tau_k \prod_{k \in \Omega_d^0} M\beta_k H_k(\tau_k) \prod_{k \in \Omega_d^2} M\beta_k^p}{\prod_{k=1}^N (\tau_k + M\beta_k^p + M\beta_k H_k(\tau_k))}, \quad (3)$$

где D'_+ — множество пограничных работоспособных «физических» состояний системы, т.е. множество векторов $\bar{d} \in D_+$ таких, что изменение некоторой одной компоненты с 1 на 0 или 2 переводит вектор \bar{d} во множество D_- ; $G(d)$ — множество номеров компонент вектора $\bar{d} \in D'_+$, изменение значения каждой из которых с 1 на 0 или 2 переводит вектор \bar{d} во множество D_- ; D'_- — множество пограничных отказовых состояний системы, т.е. множество векторов $\bar{d} \in D_-$ таких, что изменение некоторой одной компоненты с 0 или 2 на 1 переводит вектор \bar{d} во множество D_+ ; $I_0(d)$ ($I_2(d)$) — множество номеров компонент вектора $\bar{d} \in D'_-$, изменение значения каждой из которых с 0 (2) на 1 переводит вектор \bar{d} во множество D_+ .

Коэффициент технического использования (КТИ) $K_u(\tau_1, \dots, \tau_N)$ системы выразим структурной функцией $\varphi(z_1, \dots, z_N)$ системы [5] и КТИ $K_i(\tau_i)$ i -го элемента — формулами [6].

$$K_i(\tau_i) = \frac{\tau_i}{\tau_i + M\beta_i^p + M\beta_i H_i(\tau_i)}, \quad i = \overline{1, N}.$$

Пусть M_1, \dots, M_ω все различные множества элементов пути системы [5]. По определению, элементы, не принадлежащие множеству элементов пути, находятся в нерабочем состоянии, т.е. в состояниях 0 или 2. Формула (3) с помощью преобразования сумм произведений средних после несложных преобразований приводится к виду

$$K_u(\tau_1, \dots, \tau_N) = \frac{\sum_{j=1}^{\omega} \prod_{n \in M_j} \tau_n \prod_{n \notin M_j} (M\beta_n^p + M\beta_n H(\tau_n))}{\prod_{n=1}^N (\tau_n + M\beta_n^p + M\beta_n H(\tau_n))} = \sum_{j=1}^{\omega} \prod_{n \in M_j} K_n(\tau_n) \prod_{n \notin M_j} (1 - K_n(\tau_n)) = \varphi(K_1(\tau_1), \dots, K_N(\tau_N)), \quad i = \overline{1, N}. \quad (4)$$

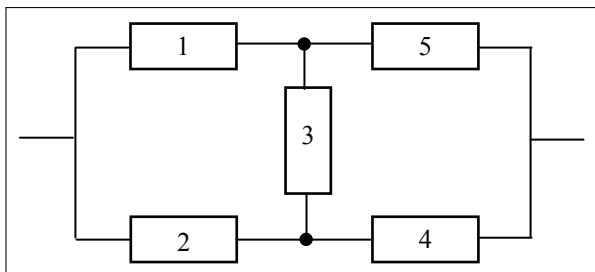


Рис. 1. Структура мостиковой системы

Здесь структурная функция φ задана в дизъюнктивной нормальной форме, однако ее можно представить многими эквивалентными способами, например, в линейной форме.

Так, для последовательной системы, дублированной системы с нагруженным резервом и мостиковой системы (рис. 1) формула (4) запишется так:

$$K_u(\tau_1, \dots, \tau_N) = \prod_{i=1}^N K_i(\tau_i), \quad K_u(\tau_1, \dots, \tau_N) = 1 - \prod_{i=1}^N (1 - K_i(\tau_i)),$$

$$K_u(\tau_1, \dots, \tau_5) = K_1(\tau_1)K_5(\tau_5) + K_2(\tau_2)K_4(\tau_4) + K_1(\tau_1)K_3(\tau_3)K_4(\tau_4) + \\ + K_2(\tau_2)K_3(\tau_3)K_5(\tau_5) - \sum_{i=1}^5 \prod_{n \neq i}^5 K_n(\tau_n) + 2 \prod_{n=1}^5 K_n(\tau_n).$$

Для определения среднего удельного дохода $S(\tau_1, \dots, \tau_N)$ на единицу календарного времени и средних удельных затрат $C(\tau_1, \dots, \tau_N)$ на единицу времени исправного функционирования системы используем формулы [7]

$$S = \frac{E \int m(z) f_s(z) \rho(dz)}{\int m(z) \rho(dz)}, \quad C = \frac{E \int m(z) f_c(z) \rho(dz)}{\int m(z) \rho(dz)}, \quad (5)$$

где $f_s(z)$, $f_c(z)$ — функции, определяющие соответственно доход и затраты в каждом состоянии.

Функции $f_s(z)$ и $f_c(z)$ с учетом введенных обозначений имеют вид

$$f_s(z) = \begin{cases} - \sum_{k \in \Omega_d^0} c_k - \sum_{k \in \Omega_d^2} c_k^p, & z \in \{ \overline{id x^{(i)} u} \}, i = \overline{1, N}, & \text{если } \Omega_d^1 = \emptyset, \\ \sum_{k \in \Omega_d^1} c_k^0 - \sum_{i \in \Omega_d^0} c_k - \sum_{k \in \Omega_d^2} c_k^p, & z \in \{ \overline{id x^{(i)} u} \}, i = \overline{1, N}, & \text{если } \Omega_d^1 \neq \emptyset, \end{cases}$$

$$f_c(z) = \begin{cases} \sum_{k \in \Omega_d^0} c_k + \sum_{k \in \Omega_d^2} c_k^p, & z \in \{ \overline{id x^{(i)} u} \}, i = \overline{1, N}, & \text{если } \Omega_d^0 \cup \Omega_d^2 \neq \emptyset, \\ 0, & z \in \{ \overline{id x^{(i)} u} \}, i = \overline{1, N}, & \text{если } \Omega_d^0 \cup \Omega_d^2 = \emptyset. \end{cases}$$

После преобразований формулы (5) получаем

$$S(\tau_1, \dots, \tau_N) = \sum_{i=1}^N S_i(\tau_i), \quad (6)$$

$$C(\tau_1, \dots, \tau_N) = \sum_{i=1}^N \frac{C_i(\tau_i) K_i(\tau_i)}{K_u(\tau_1, \dots, \tau_N)}, \quad (7)$$

где $S_i(\tau_i) = \frac{c_i^0 \tau_i - c_i^p M \beta_i^p - c_i M \beta_i H_i(\tau_i)}{\tau_i + M \beta_i^p + M \beta_i H_i(\tau_i)}$ — средний удельный доход i -го элемента на единицу календарного времени, а $C_i(\tau_i) = \frac{c_i^p M \beta_i^p + c_i M \beta_i H_i(\tau_i)}{\tau_i}$ — средние удельные затраты на единицу времени исправного функционирования i -го элемента.

ОПТИМИЗАЦИЯ СРОКОВ ПРОВЕДЕНИЯ ТО ЭЛЕМЕНТОВ

Задача определения оптимальных показателей качества функционирования системы сводится к отысканию абсолютных экстремумов функций (4), (6) и (7). Заметим, что для достижения максимальных значений КТИ $K_u(\tau_1, \dots, \tau_N)$ и среднего удельного дохода $S(\tau_1, \dots, \tau_N)$ необходимо и достаточно оптимизировать величину суммарной наработки каждого элемента, чего нельзя утверждать относительно минимальных средних удельных затрат $C(\tau_1, \dots, \tau_N)$ системы.

Приравнявая нулю частные производные функций $K_u(\tau_1, \dots, \tau_N)$, $S(\tau_1, \dots, \tau_N)$ и $C(\tau_1, \dots, \tau_N)$, получаем соответственно системы уравнений (8)–(10) для определения оптимальных значений наработок τ_i^k , τ_i^s , τ_i^c , $i = \overline{1, N}$.

$$\tau_i h_i(\tau_i) - H_i(\tau_i) = \frac{M\beta_i^p}{M\beta_i}, \quad i = \overline{1, N}, \tag{8}$$

$$h_i(\tau_i) \left(\tau_i + \frac{c_i - c_i^p}{c_i + c_i^0} M\beta_i^p \right) - H_i(\tau_i) = \frac{M\beta_i^p}{M\beta_i} \frac{c_i^p + c_i^0}{c_i + c_i^0}, \quad i = \overline{1, N}, \tag{9}$$

$$\sum_{j=1}^N C_j(\tau_j) K_j(\tau_j) \left[(\tau_i h_i(\tau_i) - H_i(\tau_i)) - \frac{M\beta_i^p}{M\beta_i} \right] \frac{\partial}{\partial K_i} \ln \varphi(K_1(\tau_1), \dots, K_N(\tau_N)) +$$

$$+ c_i (\tau_i h_i(\tau_i) - H_i(\tau_i)) + (c_i - c_i^p) M\beta_i^p h_i(\tau_i) = c_i^p \frac{M\beta_i^p}{M\beta_i}, \quad i = \overline{1, N}. \tag{10}$$

Асимптотическое поведение процесса восстановления при $\tau \rightarrow \infty$ [5] позволяет утверждать, что достаточными условиями существования конечных решений систем уравнений (8)–(10) является выполнение соответственно неравенств

$$\frac{M\beta_i^p}{M\beta_i} < \frac{1}{2} \left(1 - \frac{D\alpha_i}{(M\alpha_i)^2} \right), \quad i = \overline{1, N},$$

$$\frac{c_i^0 + c_i^p}{c_i^0 + c_i} \frac{M\beta_i^p}{M\beta_i} < \frac{1}{2} \left(1 - \frac{D\alpha_i}{(M\alpha_i)^2} \right) + \frac{c_i - c_i^p}{c_i^0 + c_i} \frac{M\beta_i^p}{M\alpha_i}, \quad i = \overline{1, N},$$

$$c_i^p \frac{M\beta_i^p}{M\beta_i} > \frac{c_i}{2} \left(1 - \frac{D\alpha_i}{(M\alpha_i)^2} \right) + (c_i - c_i^p) \frac{M\beta_i^p}{M\alpha_i} +$$

$$+ \sum_{j=1}^N \frac{c_j M\beta_j}{M\alpha_j + M\beta_j} \left[\frac{1}{2} \left(1 - \frac{D\alpha_i}{(M\alpha_i)^2} \right) - \frac{M\beta_i^p}{M\beta_i} \right] \frac{\partial}{\partial K_i} \ln \varphi \left(\frac{M\alpha_1}{M\alpha_1 + M\beta_1}, \dots, \right.$$

$$\left. \dots, \frac{M\alpha_N}{M\alpha_N + M\beta_N} \right) \quad i = \overline{1, N},$$

где $D\alpha_i$ — конечная дисперсия СВ α_i .

В случае существования единственных решений систем уравнений оптимальные значения показателей качества функционирования системы определяются формулами

$$K_{u \max} = \varphi \left(\frac{1}{1 + M\beta_1 h_1(\tau_1^k)}, \dots, \frac{1}{1 + M\beta_N h_N(\tau_N^k)} \right),$$

$$S_{\max} = \sum_{i=1}^N \frac{c_i^0 - c_i M\beta_i h_i(\tau_i^s)}{1 + M\beta_i h_i(\tau_i^s)}, \quad (11)$$

$$C_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^N C_i(\tau_i^c) K_i(\tau_i^c)}{K_u(\tau_1^c, \dots, \tau_N^c)}. \quad (12)$$

Если системы уравнений имеют несколько решений, то оптимальные значения показателей качества находятся подстановкой каждого из них в формулу для случая единственного решения с последующим выбором наилучшего из них. Отсутствие корней какого-либо j -го уравнения систем (8), (9) означает что функция $K_j(\tau_j)(S_j(\tau_j))$ является монотонной и ее экстремум достигается при $\tau_i \rightarrow \infty$. В этом случае в формулах (11) следует заменить $h_j(\infty)$ на $\frac{1}{M\alpha_j}$.

Если система уравнений (10) не имеет решений, то следует исследовать на минимум всевозможные функции, которые получаются из (7) в результате замен $K_i(\infty) = \frac{M\alpha_i}{M\alpha_i + M\beta_i}$, $C_i(\infty) = \frac{c_i M\alpha_i}{M\alpha_i + M\beta_i}$. Достижение экстремума при $\tau_i \rightarrow \infty$ говорит о том, что проводить предупредительное ТО i -го элемента нецелесообразно, поскольку его проведение ухудшает показатель качества функционирования системы.

В заключение приведем пример применения полученных результатов (табл. 1 и 2). Рассмотрим систему из трех элементов (рис. 2). Нарработка на отказ элементов распределена по закону Эрланга третьего порядка с плотностями

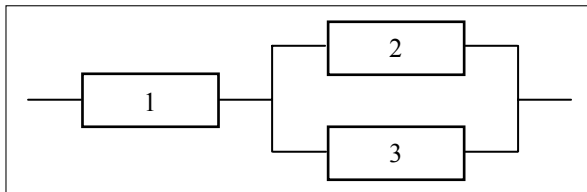


Рис. 2. Пример системы с монотонной структурой

$$f_i(t) = \frac{\lambda_i^3 t^2 e^{-\lambda_i t}}{2}, \quad i = \overline{1,3}.$$

Таблица 1. Исходные данные системы

Номер п/п	$\lambda_i, \text{ч}^{-1}$	$M\alpha_i, \text{ч}$	$M\beta_i, \text{ч}$	$M\beta_i^p, \text{ч}$	$c_i^0, \text{у.е./ч}$	$c_i, \text{у.е./ч}$	$c_i^p, \text{у.е./ч}$
1	0,05	60	3	0,9	5	1	0,2
2	0,1	30	10	3	7	3	2
3	0,08	37,5	9	2	9	3	1

Таблица 2. Результаты расчетов

Номер, п/п	$\tau_i^k, \text{ч}$	K_u^{\max}	K_u^{∞}	$\tau_i^s, \text{ч}$	S^{\max}	S^{∞}	$\tau_i^c, \text{ч}$	C^{\max}	C^{∞}
1	45,311	0,916	0,906	36,201	16,608	15,892	26,576	0,973	1,521
2	22,539			18,180			13,879		
3	20,219			16,310			10,124		

Здесь через K_u^{∞} , S^{∞} , C^{∞} обозначены показатели качества функционирования системы в случае не проведения ТО элементов. Проведение ТО элементов улучшает эти показатели соответственно на 1,043%, 4,510%, 36,019%.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Корольюк В.С., Турбин А.Ф.* Процессы марковского восстановления в задачах надежности систем. — Киев: Наук. думка, 1982. — 236 с.
2. *Полумарковские модели восстанавливаемых систем и систем массового обслуживания* / А.Н. Корлат, В.Н. Кузнецов, М.И. Новиков, А.Ф. Турбин. — Кишинев: Штиинца, 1991. — 209 с.
3. *Песчанский А.И.* Оптимизация технического обслуживания по наработке каждого элемента с последовательной структурой // Кибернетика и системный анализ. — 2006. — № 6. — С. 126–135.
4. *Песчанский А.И.* Оптимальное техническое обслуживание восстанавливаемой системы с нагруженным резервированием и учетом наработки каждого элемента // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2007. — № 3. — С. 100–110.
5. *Байхельт Ф., Франкен П.* Надежность и техническое обслуживание. Математический подход. — М.: Радио и связь, 1988. — 392 с.
6. *Капитанов В.А., Медведев А.И.* Теория надежности сложных систем (теория и практика). — М.: Европейский центр по качеству, 2002. — 470 с.
7. *Шуренков В.М.* Эргодические процессы Маркова. — М.: Наука, 1989. — 336 с.

Поступила 28.07.2007

УДК 517.9

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ ФОРМУВАННЯ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ КОЛЕКТИВНИХ ЗНАНЬ

В.В. ЯСІНСЬКИЙ , О.В. КАПУСТЯН , Х. ВАЛЕРО

На основі запропонованої системи аксіом побудовано та досліджено математичну модель процесу формування та збереження знань у великих освітніх системах. Знайдено умови збереження на деякому часовому проміжку заданого гарантованого рівня колективних знань.

ВСТУП

Використовуючи системний підхід [1, 6], досліджується модель, яка описує динаміку взаємодії між ключовими компонентами великої освітньої системи при синхронному вивченні у її підрозділах деякої навчальної дисципліни D .

Актуальність такого дослідження зумовлена, в першу чергу, необхідністю створення обґрунтованих науково методологічних засад незалежного моніторингу якості знань як учнів середніх шкіл, так і студентів вищих навчальних закладів України.

При побудові загальної моделі будемо розглядати (для зручності сприйняття) процес вивчення математики в системі середньої освіти України. Такий вибір об'єкта моделювання зумовлено низкою очевидних причин.

По-перше, місцем і роллю, яку займає математика в загальній структурі знань. По-друге, саме при вивченні математики особливо рельєфно проявляються зв'язки між різними компонентами освітньої системи. По-третє, вивчення математики має досить усталені традиції і канони. І, нарешті, процес вивчення математики добре формалізується, є достатньо спостережним і керованим.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Запропонована модель складається з трьох основних блоків, взаємодія між якими і є основою подальшого моделювання: 1) *учнівське* і 2) *викладацьке середовище*, 3) *соціальне оточення* (рисунок).

1. *Учнівське середовище* складається з усіх учнів старших класів всіх середніх шкіл України. Нехай загальна кількість учнів дорівнює N , і всі

вони впорядковані (умовно) за якоюсь очевидною ознакою, скажімо, назва міста, номер школи, номер класу і певне місце в класі, що, з одного боку, дозволяє приписувати кожному учневі номер $i \in [0; N]$, а з іншого — залишає учнів у межах звичного для них шкільного середовища. Будемо вважати, що кожен учень $i \in [0; N]$ в кожен момент часу $t \geq 0$ володіє певним рівнем знань $u = u(i, t) \geq 0$ з математичних дисциплін, тобто певним об'ємом інформації, яка надається йому згідно із уніфікованими навчальними програмами, а також відповідними навичками та вміннями використовувати цю інформацію на практиці.

Під рівнем знань тут і надалі будемо розуміти (і це суттєво) не реальний рівень знань учня (що, по-перше, в силу психології учня, особистих якостей, розвитку пам'яті та складу характеру не може бути навіть реально оцінений, і, по-друге, зміна реального рівня знань — процес індивідуальний, досить повільний і слабо залежить від учнівського середовища), а рівень знань, який спостерігається (С-знання), тобто проявляється учнем під час різноманітного педагогічного контролю (самостійні та контрольні роботи, опитування, тестування, тощо) відповідно до загальноприйнятих державних освітніх стандартів. Саме цей рівень знань може бути реально оцінений, він є досить динамічним і суттєво залежить від учнівського середовища. Крім того, саме ця залежність забезпечує той більш-менш рівний розподіл підсумкових оцінок учнів, що складає основу для подальшого комплексного аналізу якості знань з математики та вироблення відповідних стратегій управління цими знаннями.

2. *Викладацьке середовище* — це всі викладачі, які згідно з усталеними освітніми стандартами та уніфікованим методичним забезпеченням здійснюють викладання математичних дисциплін у відповідних освітніх підрозділах із кількістю учнів $i \in [1, N]$. Будемо вважати, що саме функціонування викладацького середовища є джерелом знань для учнів.

3. *Соціальне оточення* — частина суспільства, яка безпосередньо не бере участі в навчальному процесі, проте в тій чи іншій мірі зацікавлена в його результаті (батьки та близьке оточення учнів, шкільні вчителі з інших дисциплін, ВНЗ і т.п.). Вважаємо, що оточення безпосередньо не володіє знаннями, проте може реагувати (позитивно, негативно, байдуже) на їх рівень, впливаючи і безпосередньо на учня (шляхом збільшення або зменшення стимулів до навчання) і на викладацьке середовище (за допомогою всієї інфраструктури сучасного суспільства: ЗМІ, «гарячі» телефонні лінії, соціологічні дослідження і т.п.).

У моделі також використовуються поняття *реакції оточення*, *реакції системи*, *потік знань*, які розглянемо пізніше.

З точки зору реального навчального процесу важливими є поняття *мінімального* та *максимального* рівнів знань. На відміну від невідомої шуканої величини реального рівня С-знань, мінімальний та максимальний рівні знань є відомими величинами, які встановлюються державними освітніми стандартами. Очевидно, що мінімальний та максимальний рівні знань залежать від часу, проте не залежать від конкретного учня. Таким чином, вважа-

ємо, що в моделі відомі невід'ємні функції $u_1(t)$ — мінімальний та $u_2(t)$ — максимальний рівні знань у момент часу t .



Схема взаємодії компонентів моделі (великої освітньої системи)

Аксиома 1. У системі, яка розглядається, всі викладачі забезпечують однаковий рівень викладання математики, що забезпечує однакові умови накопичення знань для кожного учня.

Така умова здається доволі жорсткою, проте вона виправдана як з точки зору подальшого аналізу моделі, так і з огляду на те, що всі учні користуються однаковими підручниками, що базуються на одній шкільній програмі, а здійснюють підготовку викладачів математики всього декілька педагогічних університетів за уніфікованими учбовими програмами.

Опишемо взаємодію між компонентами моделі (рисунок).

1. Оточення впливає (стрілка 1) на викладацьке середовище, виступаючи як «замовник» знань.

2. Викладачі і підручники є джерелом знань для учнів (стрілка 2). Проте насправді наявний і обернений зв'язок (стрілка 3) полягає в тому, що викладач, керуючись власною педагогічною майстерністю, повинен в межах програми варіювати об'єм матеріалу, який пропонує на уроці, в залежності від наявного рівня S -знань учнів.

3. В учнівському середовищі іде постійний перерозподіл рівня знань (стрілка 4). Суттєвим є те, що ми маємо на увазі не рівень реальних знань, а фактично рівень S -знань. Якщо процес обміну реальними знаннями між учнями явище, не характерне для середньої школи, то швидкий загальноприйнятий неявний обмін інформацією суттєво впливає на поточну підсумкову успішність для багатьох учнів, тобто на рівень S -знань.

4. Соціальне оточення, не надаючи реальних (математичних) знань, реагує на їх формування шляхом збільшення або зменшення (стрілка 5) стимулів до його підвищення.

Одне з ключових моментів при описі взаємодії між компонентами моделі є визначення поняття *реакції системи*.

Аксиома 2. Знак і величина обміну знаннями між учнівським і викладацьким середовищами визначаються реакцією системи, тобто сумарною реакцією учнів і соціального оточення на наявний розподіл рівня знань $u(i, t)$.

Реакція учня характеризує міру його прагнення до навчання, точніше до зміни рівня власних C -знань. Кількісно величина (міра) такого прагнення цілком може бути визначена, наприклад, шляхом анкетування з використанням певної порівняльної шкали і залежати від різних обставин. Проте основними складовими тут є сам учень, момент часу, шкільні вимоги в цей момент часу і наявний рівень C -знань.

Отже, реакцію учня i визначає деяка функція $f_1(u, u_1, u_2, i, t)$. Цілком природно вважати, що викладач, побачивши прагнення учня i покращити свою успішність ($f_1(u, u_1, u_2, i, t) > 0$), приділяє йому більше уваги і в той же час починає при оцінці знань виходити з дещо завищеної суб'єктивної шкали, що призводить до збільшення рівня C -знань цього учня. І, навпаки, якщо викладач не бачить бажання учня i вчитися ($f_1(u, u_1, u_2, i, t) < 0$), то обмежується, здебільшого, формальним поданням матеріалу в межах навчального плану, а при оцінці знань виходить з дещо заниженої суб'єктивної шкали, що зменшує рівень C -знань учня i .

Аналогічно визначимо величину реакції соціального оточення на учня i , тобто на його наявний рівень C -знань $u(i, t)$, що виражається функціональною залежністю $f_2(u, u_1, u_2, i, t)$. При цьому, якщо соціальне оточення задоволене наявним рівнем C -знань учня i ($f_2(u, u_1, u_2, i, t) > 0$), то це зменшує контроль (стимулювання) учня i , і водночас надає підстави для схвалення роботи викладацького середовища. Викладачі, керуючись схвальною оцінкою їх діяльності, дають якісно вищий обсяг знань, що без належного контролю з боку соціального оточення зменшує рівень C -знань учня i . І, навпаки, якщо соціальне оточення не задоволене наявним рівнем C -знань учня i ($f_2(u, u_1, u_2, i, t) < 0$), то контроль (стимулювання) за учнем i зростає, а негативна реакція змушує викладача знову ж суб'єктивно «понизити планку» при поданні нового матеріалу, що збільшує рівень C -знань учня i .

Таким чином, реакція системи визначається функцією

$$f(u, i, t) = f_1(u, u_1(t), u_2(t), i, t) - f_2(u, u_1(t), u_2(t), i, t).$$

Перейдемо до опису механізмів перерозподілу знань в учнівському середовищі.

Аксиома 3. В учнівському середовищі існує неявний механізм перерозподілу рівня C -знань, причому знання можуть передаватися лише від учня з більшим рівнем знань до учня з меншим рівнем.

Нехай під час певного педагогічного контролю учень i неявно допоміг учневі $i + 1$. Тоді рівень C -знань учня $i + 1$ збільшується, в той час як учня i зменшується. Вважаючи, що контроль здійснюється в кожний момент часу (в тій чи іншій формі), визначимо потік знань $W(i, t)$ як кількість знань, що одержує учень $i + 1$ від учня i в момент часу t . У відповідності до аксіоми 3

величина $W(i, t)$ додатна при $u(i, t) > u(i + 1, t)$, від'ємна при $u(i, t) < u(i + 1, t)$ і дорівнює нулю при $u(i, t) = u(i + 1, t)$. Очевидно, що швидкість зміни рівня C -знань має відбуватися тим швидше, чим більше різниця між рівнями знань учнів.

Аксіома 4. *Неявний взаємобмін знаннями пари учнів i та $i + 1$ залежить від самих учнів і взагалі не залежить від інших учасників системи (принцип близької взаємодії).*

Один з найбільш загальних законів для величини $W(i, t)$ такий:

$$W(i, t) = -\mu(i, i + 1)(u(i + 1, t) - u(i, t)),$$

де функція μ додатна при всіх значеннях своїх аргументів.

Для виводу рівняння балансу нам знадобиться

Аксіома 5. *Швидкість зміни величини C -знань визначається потоками знань та реакцію системи.*

У наведеному загальному описі об'єкт моделювання представляється замкненою, узгодженою і самоорганізуючою системою з різними прямими та оберненими зв'язками між компонентами.

Підрахуємо зміну рівня C -знань Δu учня i за проміжок часу Δt між моментами t і $t + \Delta t$. Ця кількість формується:

1) потоком знань, що отримується від учня $i - 1$ за вказаним механізмом

$$\Delta u_- = W(i - 1, t)\Delta t;$$

2) потоком знань, що передається учню $i + 1$ за тим же механізмом

$$\Delta u_+ = -W(i, t)\Delta t;$$

3) знаннями, що визначаються реакцією системи

$$\Delta u_0 = f(u(i, t), i, t)\Delta t.$$

Додаючи ці величини, одержуємо сумарну зміну

$$\Delta u = u(i, t + \Delta t) - u(i, t) = (W(i - 1, t) - W(i, t) + f)\Delta t.$$

Таким чином, маємо рівняння

$$\frac{\Delta u(i, t)}{\Delta t} = -(W(i, t) - W(i - 1, t)) + f.$$

Дане рівняння записане для довільного номера $i \in (0, N)$. Для номерів $i = 0$ та $i = N$ будемо вважати значення потоку знань, рівним нулю, тобто

$$W(-1, t) = W(N, t) = 0.$$

Крім того, в початковий момент часу $t = 0$ наявний певний розподіл рівня C -знань

$$u(i, 0) = u_0(i) \geq 0, \quad 0 \leq i \leq N.$$

Отже, маємо замкнену дискретну модель розподілу рівня C -знань $u(i, t)$ у даній системі. Стандартно переходячи до неперервної моделі, одержуємо крайову задачу

$$\begin{cases} \frac{\partial u}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu(x) \frac{\partial u}{\partial x} \right) + f(u, x, t), & x \in (0, l), \quad t \in (0, T), \\ \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\partial u}{\partial x} \Big|_{x=l} = 0, \\ u \Big|_{t=0} = u_0(x), \end{cases} \quad (1)$$

де нашим основним завданням буде з'ясування умов, за яких з часом зберігається деякий *гарантований* рівень знань $q(t) > 0$.

АНАЛІЗ УМОВ І ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ

Визначимо основні умови, яким мають задовольняти параметри моделі (1).

По-перше, функція μ , що характеризує інтенсивність потоку, має лише одне природне обмеження — додатність на $(0, l)$. Тому будемо вважати, що

$$\mu \in L^\infty(0, l), \quad \mu(x) \geq \mu_0 > 0 \text{ м.с. на } (0, l). \quad (2)$$

По-друге, за побудовою і проведеним аналізом функція $f = f(u, x, t) : [0, +\infty) \times [0, l] \times [0, T] \mapsto (-\infty, +\infty)$, що характеризує реакцію системи, має неперервний характер при фіксованому $x \in (0, l)$, тобто задовольняє умови

$$\text{відображення } (t, u) \mapsto f(u, x, t) \text{ — неперервне для м.в. } x \in (0, l), \quad (3)$$

$$\text{відображення } x \mapsto f(u, x, t) \text{ — вимірне для всіх } (u, t) \in [0, +\infty) \times [0, T]. \quad (4)$$

Крім того, природно вважати, що реакція системи мажоредується деяким ступенем рівня знань, при цьому не маючи характеру монотонності, а її знакові властивості забезпечують дисипативність процесу. Тому вважаємо, що для всіх $(u, x, t) \in [0, +\infty) \times [0, l] \times [0, T]$ виконуються оцінки

$$|f(u, x, t)| \leq C_1(1 + |u|^{p-1}), \quad (5)$$

$$f(u, x, t)u \leq -\alpha |u|^p + C_2, \quad (6)$$

де $p \geq 2$, $\alpha, C_1, C_2 > 0$.

Для коректної математичної постановки задачі продовжимо f на $(-\infty, +\infty) \times [0, l] \times [0, T]$, покладаючи для $u \leq 0$

$$f(u, x, t) := f(0, x, t) + 2\alpha |u|^{p-1}.$$

Тоді $f = f(u, x, t)$ визначена і задовольняє умови (3) – (6) на множині $(-\infty, +\infty) \times [0, l] \times [0, T]$.

Введемо простори $H := L^2(0, l)$ з нормою $\|\cdot\|$ та $V := H^1(0, l)$ з нормою $\|\cdot\|_V$.

Умови (2)–(6) дозволяють з незначними змінами повторити міркування з роботи [2, теорема 3.9] і довести розв’язність задачі (1) для довільних початкових даних $u_0 \in H$ в класі $L^p(0, T; L^p(0, l)) \cap L^2(0, T; V) \cap C([0, T]; H)$. При цьому єдиність відповідного розв’язку не гарантується, що є наслідком недиференційовного і немонотонного характеру залежності f від u [2].

З’ясуємо, за яких умов для рівня C -знань на часовому проміжку $[0, T]$ зберігається деякий гарантований рівень $q(t) > 0$, де $q(\cdot) \in C^1([0, T])$ — фіксована функція. Виявляється, що для цього достатньо вимоги, щоб рівень C -знань у початковий момент часу $t = 0$ був не нижче показника $q(0)$ і щоб у кожний момент часу $t \in [0, T]$ швидкість зміни рівня $q(t)$ визначалася реакцією системи на цей рівень. Точніше, справедлива теорема, яка містить основний результат роботи.

Теорема. Нехай для задачі (1) виконані умови (2) – (6) і, крім того,

$$u_0(x) \geq q(0) \text{ для м.в. } x \in (0, l), \quad (7)$$

$$f(q(t), x, t) > q'(t) \text{ для м.в. } x \in (0, l) \text{ та всіх } t \in [0, T]. \quad (8)$$

Тоді існує розв’язок $u = u(x, t)$ задачі (1), для якого

$$u(x, t) \geq q(t) \text{ для м.в. } x \in (0, l) \text{ та всіх } t \in [0, T]. \quad (9)$$

Доведення. Перейдемо в задачі (1) до нової шуканої функції $v(x, t) = u(x, t) - q(t)$. Одержимо

$$\begin{cases} \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu(x) \frac{\partial v}{\partial x} \right) + F(v, x, t), & x \in (0, l), t \in (0, T), \\ \frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{x=l} = 0, \\ v \Big|_{t=0} = v_0(x) := u_0(x) - q(0), \end{cases} \quad (10)$$

де $F(v, x, t) = f(v + q(t), x, t) - q'(t)$. Легко показати, що функція F задовольняє умови (3),(4). Оскільки

$$|F(v, x, t)| \leq |q'(t)| + C_1(1 + |v + q(t)|^{p-1}),$$

$$F(v, x, t)v \leq -\alpha |v + q(t)|^p + |q(t)| C_1(1 + |v + q(t)|^{p-1}) + |q'(t)| |v|,$$

а функції q, q' є обмеженими на інтервалі $[0, T]$, то існують константи $C_1 = C_1(T) > 0$, $C_2 = C_2(T) > 0$, $\alpha = \alpha(T) > 0$ такі, що для довільних $(v, x, t) \in (-\infty, +\infty) \times [0, l] \times [0, T]$ виконуються оцінки (5),(6) для функції F . Це дозволяє стверджувати розв’язність задачі (10) на проміжку $[0, T]$ для довільних початкових даних $v_0 \in H$ в класі $L^p(0, T; L^p(0, l)) \cap L^2(0, T; V) \cap C([0, T]; H)$.

Крім того, в силу умови (8) $F(0, x, t) > 0$ для м.в. $x \in (0, l)$ та для всіх $t \in [0, T]$.

Теорему буде доведено, якщо ми покажемо, що для початкових даних v_0 з класу

$$H^+ = \{\xi \in H \mid \xi(x) \geq 0 \text{ для м.в. } x \in (0, l)\}$$

існує, принаймні, один розв'язок $v = v(x, t)$ задачі (10), для якого виконується включення

$$v(t) \in H^+ \quad \forall t \in [0, T]. \quad (11)$$

Розглянемо послідовність гладких функцій $\psi_n : [0, +\infty) \mapsto [0, 1]$

$$\psi_n(s) = \begin{cases} 1, & 0 \leq s \leq n, \\ 0 \leq \psi_n(s) \leq 1, & n \leq s \leq n+1, \\ 0, & s \geq n+1, \end{cases} \quad (12)$$

і для кожного $n \geq 1$ покладемо

$$F_n(u, x, t) = \psi_n(|u|)F(u, x, t) + (1 - \psi_n(|u|))g(u, x, t),$$

де $g(u, x, t) = -|u|^{p-2}u + F(0, x, t)$.

Тоді F_n задовольняє умови (3), (4) і для довільного $A > 0$

$$\operatorname{ess\,sup}_{x \in (0, l)} \sup_{t \in [0, T]} \sup_{|u| \leq A} |F_n(u, x, t) - F(u, x, t)| \rightarrow 0, \quad n \rightarrow \infty.$$

Зокрема, функції F_n задовольняють умови (5),(6) з константами, що не залежать від n і $F_n(0, x, t) = F(0, x, t) \geq 0$.

Крім того, якщо $|u| > n+1$, то

$$F'_{nu}(u, x, t) = g'_u(u, x, t) = -(p-1)|u|^{p-2} \leq 0. \quad (13)$$

Для кожного $n \geq 1$, $k > 1$ розглянемо послідовність

$$F_n^k(u, x, t) = \int_{-\infty}^{+\infty} \rho_k(s) F_n(u-s, x, t) ds,$$

де $\rho_k \in C_0^\infty(-\infty, +\infty)$, $\operatorname{supp} \rho_k \subset \left[-\frac{1}{k}, \frac{1}{k}\right]$, $\int_{-\infty}^{+\infty} \rho_k(s) ds = 1$, $\rho_k \geq 0$.

Тоді функції F_n^k задовольняють (3), (4) і є гладкими по першій змінній при фіксованих інших. Крім того, легко показати, що функції F_n^k задовольняють умови (5),(6) з константами, що не залежать від n, k [3, лема 2].

Далі, для $|u| > n+2$ в силу оцінки (13)

$$\frac{\partial F_n^k(u, x, t)}{\partial u} = \int_{-\infty}^{+\infty} \rho_k(s) \frac{\partial F_n(u-s, x, t)}{\partial u} ds \leq 0. \quad (14)$$

Для $|u| \leq n + 2$ в силу оцінки (5)

$$\left| \frac{\partial F_n^k(u, x, t)}{\partial u} \right| \leq \int_{-\infty}^{+\infty} |\rho_k'(u-s)| |F_n(s, x, t)| ds \leq D(k, n). \quad (15)$$

Тепер при фіксованих $n \geq 1, k > 1$ розглянемо задачу

$$\begin{cases} \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu(x) \frac{\partial v}{\partial x} \right) + F_n^k(v, x, t), & x \in (0, l), t \in (0, T), \\ \frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{x=l} = 0, \\ v|_{t=0} = v_0(x). \end{cases} \quad (16)$$

Оскільки виконуються умови (2) – (6), а також оцінки (14),(15), то задача (16) має єдиний розв'язок $v_n^k(x, t)$ у класі $L^p(0, T; L^p(0, l)) \cap L^2(0, T; V) \cap C([0, T]; H)$. Крім того, оскільки константи в умовах (2) – (6) не залежать від n, k , то, використовуючи стандартні апріорні оцінки [1] і лему про компактність, маємо, що для кожного $n \geq 1$ існує функція $v_n(x, t)$ з класу $L^p(0, T; L^p(0, l)) \cap L^2(0, T; V)$ така, що по підпоследовності справедливі граничні рівності при $k \rightarrow \infty$

$$v_n^k \rightarrow v_n \text{ в } L^2(0, T; H),$$

$$v_n^k(t) \rightarrow v_n(t) \text{ в } H \text{ для м.в. } t \in (0, T), \quad (17)$$

$$v_n^k(x, t) \rightarrow v_n(x, t) \text{ для м.в. } (x, t) \in (0, l) \times (0, T).$$

Звідси $F_n^k(v_n^k(x, t), x, t) \rightarrow F_n(v_n(x, t), x, t)$, $k \rightarrow \infty$ для м.в. $(x, t) \in (0, l) \times (0, T)$ і оскільки послідовність $\{F_n^k(v_n^k, x, t)\}$ обмежена в $L^q(0, t; L^q(0, l))$, $1/q + 1/p = 1$, то з леми Ліонса виводимо, що $F_n^k(v_n^k, x, t) \rightarrow F_n(v_n, x, t)$, $k \rightarrow \infty$ слабо в $L^q(0, t; L^q(0, l))$. Це дозволяє здійснити граничний перехід в (16) при $k \rightarrow \infty$ і одержати, що функція $v_n = v_n(x, t)$ належить класу $L^p(0, T; L^p(0, l)) \cap L^2(0, T; V) \cap C([0, T]; H)$ і є розв'язком задачі

$$\begin{cases} \frac{\partial v}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\mu(x) \frac{\partial v}{\partial x} \right) + F_n(v, x, t), & x \in (0, l), t \in (0, T), \\ \frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{x=0} = \frac{\partial v}{\partial x} \Big|_{x=l} = 0, \\ v|_{t=0} = v_0(x). \end{cases} \quad (18)$$

Доведемо, що $\forall n \geq 1 v_n(x, t) \geq 0$ для м.в. $(x, t) \in (0, l) \times (0, T)$. Для цього домножимо (16) на зрізану функцію $(-v_n^k)^+$, де $u^+ = \max\{u, 0\}$. Використовуючи стандартну техніку [3, 5], одержимо нерівність

$$\frac{d}{dt} \|(-v_n^k)^+(t)\|^2 \leq -\int_0^l F_n^k(v_n^k(x,t), x, t)(-v_n^k)^+(x,t) dx. \quad (19)$$

При фіксованих n, k розіб'ємо $(0, l)$ на неперетинні вимірні множини Ω_1 і Ω_2 так, що $v_n^k(x, t) \geq 0$ на Ω_1 і $v_n^k(x, t) < 0$ на Ω_2 . Тоді, використовуючи рівність $u - u^+ = -(-u)^+$, з нерівностей (14),(15) одержуємо

$$\begin{aligned} & \int_0^l F_n^k(v_n^k(x,t), x, t)(-v_n^k)^+(x,t) dx \geq \\ & \geq -D(n, k) \int_0^l \left((-v_n^k)^+(x,t)\right)^2 dx + \int_{\Omega_2} F_n^k(0, x, t)(-v_n^k)^+(x,t) dx. \end{aligned}$$

Зауважимо, що в силу теореми Лебега функція $s \mapsto \int_0^l F(s, x, t)(-v_n)^+(x, t) dx$ є неперервною. При строгій оцінці (8) існують такі $\varepsilon > 0, \delta > 0$, що для всіх $s, |s| < \delta$ виконується нерівність

$$\int_0^l F(s, x, t)(-v_n)^+(x, t) dx > \varepsilon.$$

Оскільки легко показати, що $(-v_n^k)^+ \rightarrow (-v_n)^+, k \rightarrow \infty$ в H , то для всіх $k, 1/k < \delta$ і для всіх $s, |s| < 1/k$, виконується нерівність

$$\int_0^l F(s, x, t)(-v_n^k)^+(x, t) dx > 0.$$

З наведених оцінок для достатньо великих k одержимо нерівність

$$\frac{d}{dt} \|(-v_n^k)^+(t)\|^2 \leq D(n, k) \|(-v_n^k)^+(t)\|^2. \quad (20)$$

Тоді з леми Гронуолла та умови $v_0 \in H^+$ одержимо, що для всіх $n \geq 1$ і для достатньо великих k $v_n^k(x, t) \geq 0$ для м.в. $(x, t) \in (0, l) \times (0, T)$.

З (17) маємо також ту саму нерівність для функції $v_n(x, t)$.

Тепер для задачі (18), застосовучи попередні міркування, одержуємо, що існує функція $v(x, t)$ з класу $L^p(0, T; L^p(0, l)) \cap L^2(0, T; V)$ така, що по підпоследовності справедливі граничні рівності (17) при $n \rightarrow \infty$. Звідси $F_n(v_n, x, t) \rightarrow F(v, x, t), n \rightarrow \infty$ слабо в $L^q(0, t; L^q(0, l))$. Це дозволяє здійснити граничний перехід у (18) при $n \rightarrow \infty$ і стверджувати, що функція $v = v(x, t)$ належить класу

$$L^p(0, T; L^p(0, l)) \cap L^2(0, T; V) \cap C([0, T]; H),$$

є розв'язком задачі (10), і виконується нерівність $v(x,t) \geq 0$ для м.в. $(x,t) \in (0,l) \times (0,T)$. Користуючись неперервністю $v(x,t)$ по змінній t в нормі простору H , легко отримуємо включення $v(t) \in H^+$ для всіх $t \in [0,T]$. Теорему доведено.

ВИСНОВКИ

1. У роботі досліджено загальну математичну модель процесу формування і збереження колективних знань у великих освітніх системах. Доведено теорему про збереження на деякому часовому проміжку заданого гарантованого рівня знань.

2. Отримані результати можуть бути використані при розробці кваліметричних технологій науково-методичних засад незалежного моніторингу якості знань як учнів середніх шкіл, так і студентів вищих навчальних закладів України.

ЛІТЕРАТУРА

1. Згуровський М. З., Панкратова Н. Д. Основи системного аналізу. — Київ: Видавнича група BVH, 2007. — 544 с.
2. *Global attractors of multi-valued dynamical systems and evolution equations without uniqueness* / O.V. Kapustyan, V.S. Mel'nik, J. Valero, V.V. Yasinsky. — Kyiv: Nauk. dumka, 2008. — 215 p.
3. *Kapustyan O.V., Valero J. On the Kneser property for the Ginzburg-Landau equation and the Lotka-Volterra system with diffusion* // J. Math. Anal. Appl. — 2009. — 325, № 10. — P. 201–229.
4. *Temam R. Infinite dimensional dynamical systems in mechanics and physics.* — N.Y.: Springer, 1998. — 520 p.
5. *Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование.* — М.: Физматгиз, 2005. — 320 с.
6. *Ясінський В.В. Системне моделювання процесів накопичення і дисипації знань* // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2007. — № 3. — С. 111–121.

Надійшла 16.12.2008

МОДЕЛИРОВАНИЕ МОДУЛЬНЫХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ДИСКРЕТНОЙ ТЕОРИИ ПАТТЕРНОВ

И.И. КОВАЛЕНКО, О.А. КУДИН

Рассмотрены основные понятия и положения дискретной теории паттернов и паттерновых сетей — нового направления анализа и моделирования модульных систем. Описаны примеры использования паттерновых сетей в задачах моделирования локальных компьютерных сетей и представления сценариев на основе И-ИЛИ-графов (деревьев).

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для моделирования структур и содержаний информационных систем используются чаще всего два метода — графовый и табличный, которые позволяют создавать наглядные и понятные модели информационных и других систем. Однако появление в последние 10–15 лет сложных территориально-распределенных информационных систем, работающих на основе компьютерных сетей, всевозможных Web-страниц, языков HTML, XML и т.д. обусловило необходимость создания новых методов моделирования и проектирования информационных систем, расширяющих и дополняющих графовые и табличные методы.

Этой потребности отвечают паттерновые сети и основанная на них «парадигма модульного мышления», которая появилась в конце 20-го века в результате создания У. Гренандером теории паттернов (*pattern* — образ) [1–4]. В дальнейшем в результате ограничения области действия формального аппарата теории паттернов были созданы основы дискретной теории паттернов, опубликованные в работе [5]. Данная теория послужила основой построения нового вида модульных систем, названных паттерновыми сетями. Благодаря своим модульным свойствам, паттерновые сети моделируют структуры, содержание и другие характеристики модульных систем. Дискретная теория паттернов и паттерновые сети в настоящее время находятся в начальной стадии развития и их практическое применение в основном сводится к моделированию компьютерных гипертекстов как модульных систем.

Цель статьи — изложение основных положений нового направления анализа систем (теории паттернов и паттерновых сетей) и рассмотрение некоторых примеров их возможного применения в компьютерной науке и практике.

ОСНОВНЫЕ ПОНЯТИЯ И ПОЛОЖЕНИЯ ДИСКРЕТНОЙ ТЕОРИИ ПАТТЕРНОВ [5]

Прежде всего рассмотрим основные понятия и определения теории паттернов.

Паттерновые сети состоят из элементарных модульных логических объектов, называемых *образующими* (*generators*), которые являются моделями реальных модулей. Любая образующая имеет неотделимые от нее *связи* (*bonds*), ориентированные (входные/выходные) или неориентированные. Две связи, принадлежащие разным образующим, соединяются в *связку* паттерновой сети (*linkage*). Путем такого попарного (одна с одной) соединения связей в связки из образующих строятся паттерновые сети (*pattern network* — *PN*) — модели реальных модульных систем. На рис. 1 дано графическое представление информационных структур паттерновыми и графовыми сетями, что дает возможность оценить их основные различия.

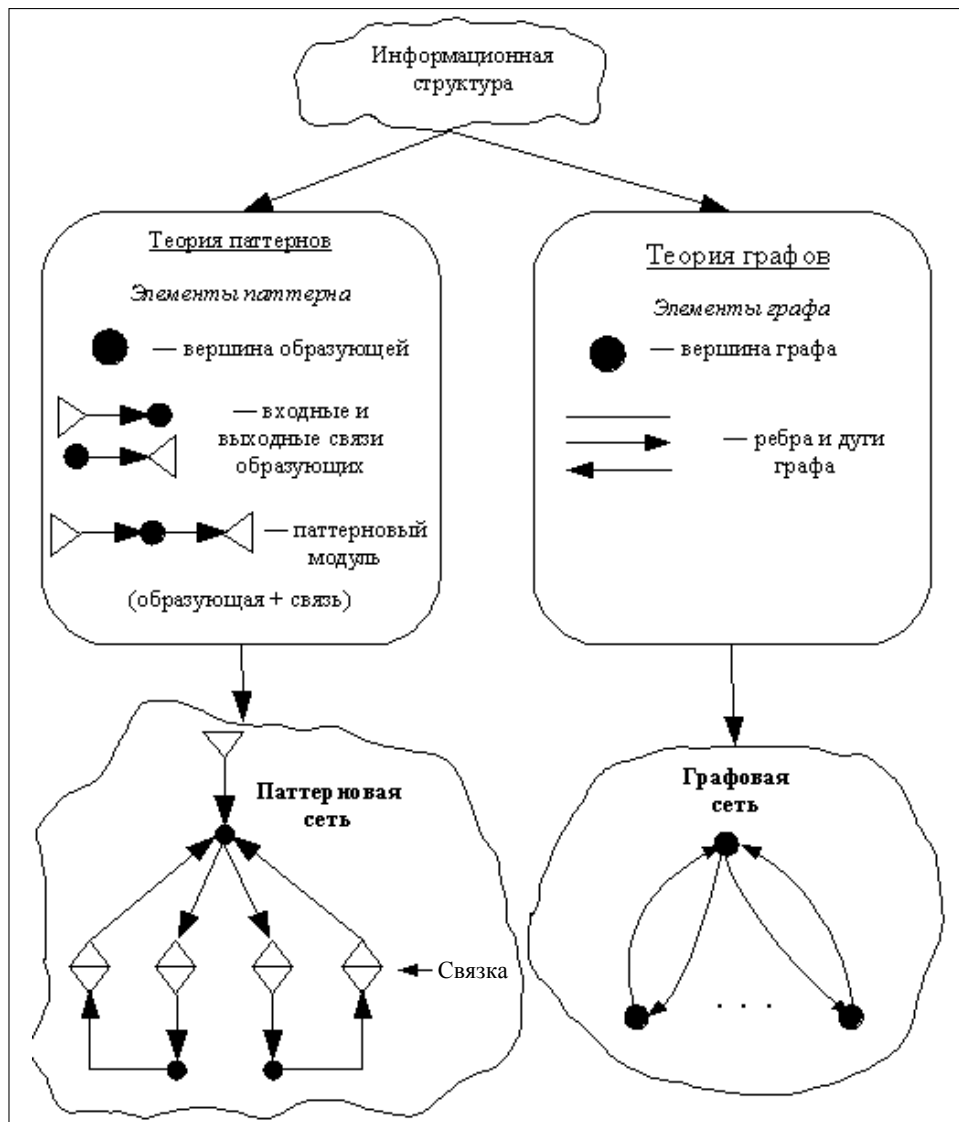


Рис. 1. Графическое представление информационных структур паттерновыми и графовыми сетями

Практика решения компьютерных задач с помощью паттерновых сетей показала, что реальные модули с разным числом входов и выходов модели-

руются ориентированными образующими, определяемыми следующим параметрическим вектором признаков [5]:

$$a(g_i) = a(i, \gamma_{il}, \beta_{im}^{\text{in}}, \beta_{ir}^{\text{out}}), \quad (1)$$

где g_i — образующая ($i = 1, 2, \dots, n$); $a(g_i)$ — вектор признаков образующей; i — порядковый номер образующей g_i в конечном множестве образующих G_n ; γ_{il} — компонента вектора признаков, называемая атрибутом образующей; $\beta_{im}^{\text{in}}, \beta_{ir}^{\text{out}}$ — компоненты вектора, называемые показателями (переменными) входных и выходных связей образующей g_i ; m, r — параметры, числовые значения которых обозначают соответственно числа входных и выходных связей образующих.

Чтобы вектор (1) представлял как структуры, так и информационное содержимое образующих, его компонентам ставятся в соответствие домены $D_{il}, D_{im}^{\text{in}}, D_{ir}^{\text{out}}$, которые определяются как конечные или счетные множества данных о реальных модулях.

На каждой связке паттерновой сети устанавливается бинарное отношение между двумя ее переменными β , называемое отношением связей и обозначаемое символом ρ (соединено). В общем случае связка сети может быть представлена в виде $\beta^{\text{out}} \rho \beta^{\text{in}}$, ρ — соединено ИСТИНА или ЛОЖЬ.

Изменение числовых параметров m и r в векторе (1) позволяет моделировать реальные модули с различным числом входных и выходных связей, а также формировать различные типы (классы) образующих. Например, если $m = r = 1$, то в результате получается линейная образующая (L -образующая, рис. 2,а) — модель модулей с одним входом и одним выходом.

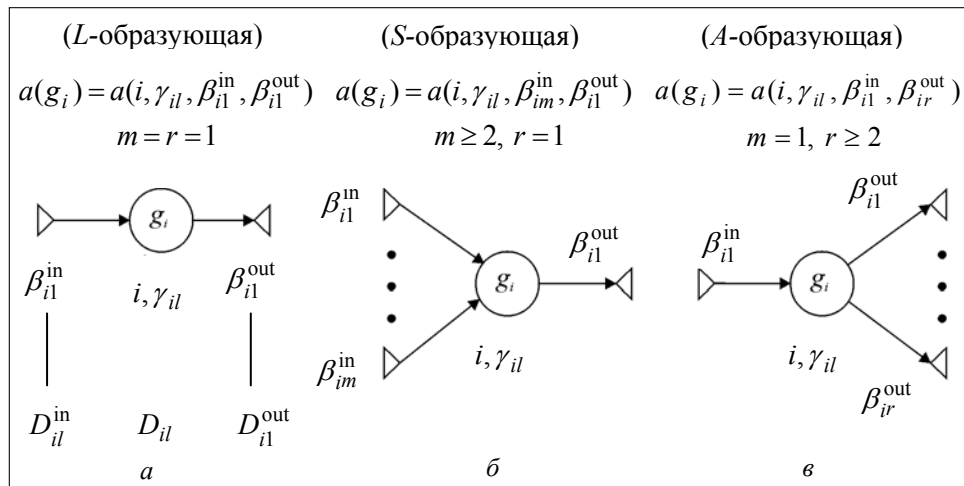


Рис. 2. Основные типы образующих

При $m \geq 2$ и $r = 1$ линейная образующая преобразуется в образующую синтеза (S -образующую, рис. 2,б), а при $m = 1, r \geq 2$ получается образующая анализа (A -образующая, рис. 2,в).

В качестве примера приведем формальное описание некоторой абстрактной паттерновой сети (рис. 3).

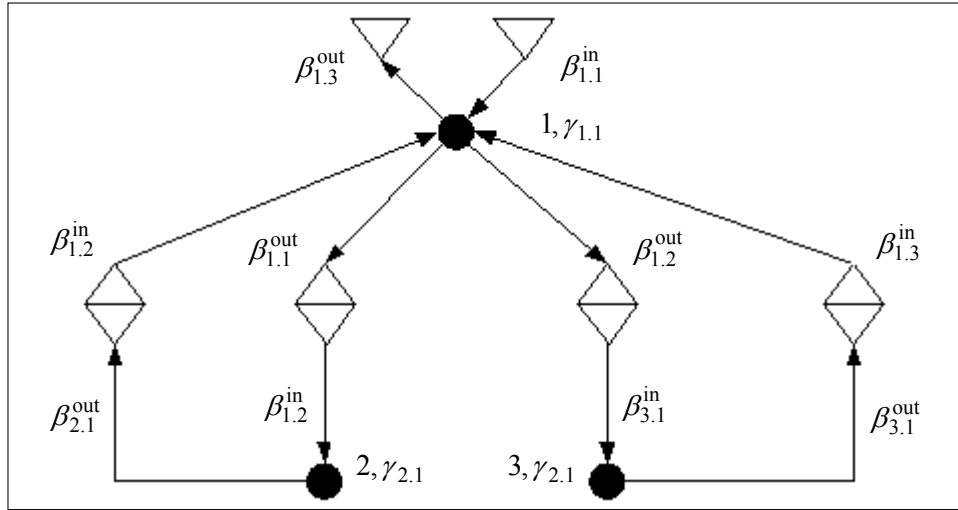


Рис. 3. Абстрактная паттерновая сеть

Структурный скелет сети \Rightarrow

$$\Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \text{Состав} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} a(g_1) = a(1, \gamma_{11}, \beta_{11}^{in}, \beta_{12}^{in}, \beta_{13}^{in}, \beta_{11}^{out}, \beta_{12}^{out}, \beta_{13}^{out}) \\ a(g_2) = a(2, \gamma_{21}, \beta_{21}^{in}, \beta_{21}^{out}) \\ a(g_3) = a(3, \gamma_{31}, \beta_{31}^{in}, \beta_{31}^{out}) \end{array} \right. \\ \text{Структура} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} \beta_{21}^{out} \rho \beta_{12}^{in}, \beta_{11}^{out} \rho \beta_{21}^{in}, \beta_{12}^{out} \rho \beta_{31}^{in}, \beta_{31}^{out} \rho \beta_{13}^{in} \\ \rho - \text{соединение ИСТИНА} \end{array} \right. \\ \text{Содержание} \Rightarrow \left[\begin{array}{l} D_{11}, D_{21}, D_{31} \\ D_{11}^{in}, D_{12}^{in}, D_{13}^{in}, D_{11}^{out}, D_{12}^{out}, D_{13}^{out} \\ D_{21}^{in}, D_{21}^{out}, D_{31}^{in}, D_{31}^{out} \end{array} \right. \end{array} \right.$$

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЛОКАЛЬНЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ СЕТЕЙ

Рассмотрим локальную компьютерную сеть (ЛКС) с соединением компьютеров по схеме типа «звезда». Эта схема наиболее часто применяется в ЛКС из-за ее надежности и удобства в эксплуатации. Типовая схема и граф такой ЛКС приведены на рис. 4.

На основании теории паттернов в этой схеме можно выделить три атомарных (модульных) объекта — компьютеры, коммутатор и соединительные линии. Их можно представить в виде образующих (рис. 5).

В качестве примера рассмотрим процесс формализации параметров образующей, моделирующей соединительную линию. Сначала зададим образующую в абстрактном виде, без учета среды, в которой она может действо-

вать. Так как мы говорим о соединительной линии между компьютером и коммутационным устройством или между двумя коммутационными устройствами, то эта образующая будет иметь один вход и один выход (рис. 6).

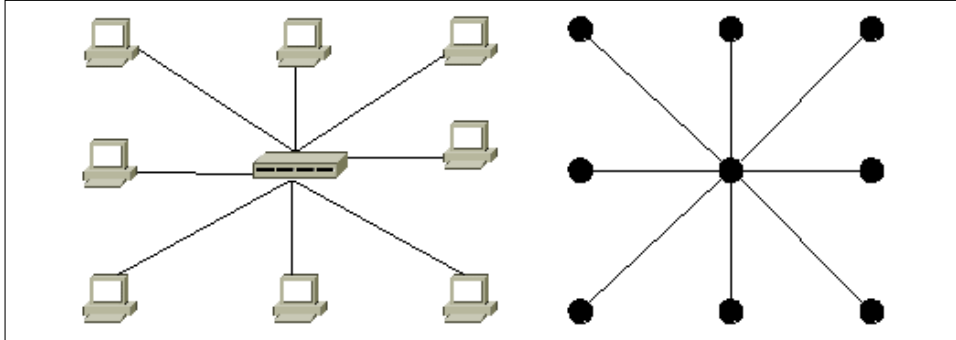


Рис. 4. Схема и граф соединения компьютеров в локальную сеть с топологией «звезда»

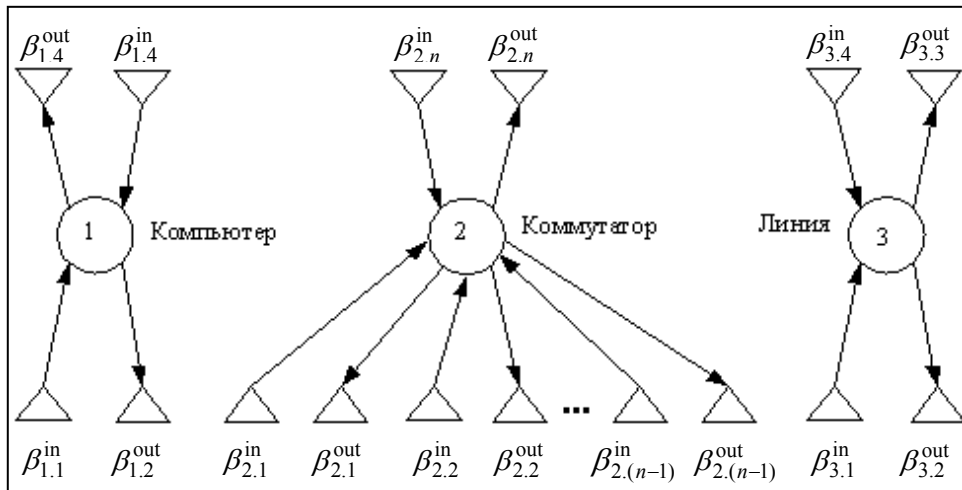


Рис. 5. Образующие паттерновой сети

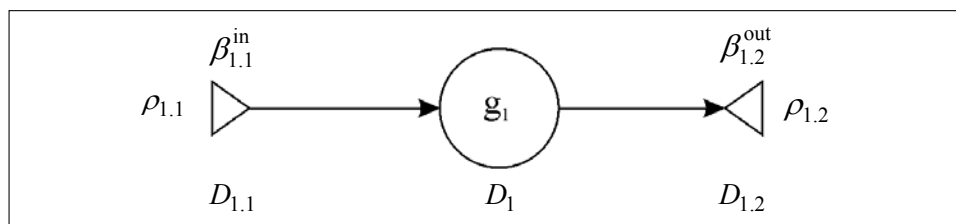


Рис. 6. Абстрактная образующая соединительной линии

В качестве идентификатора образующей примем обозначение g_i , которое является индексом образующей во множестве образующих G , $g_i \in G = \{g_1, g_2, \dots, g_n\}$. Тогда вектор признаков образующей будет иметь вид

$$a(g_1) = (1, \gamma_1, \beta_{1.1}^{\text{in}}, \beta_{1.2}^{\text{out}}, D_1, D_{1.1}, D_{1.2}, \rho_{1.1}, \rho_{1.2}), \quad (2)$$

где l — индекс класса, а γ_1 — атрибут (идентификатор) образующей; $\beta_{1.1}^{\text{in}}$ — показатель входной и $\beta_{1.2}^{\text{out}}$ — выходной связи; D_1 — домен допустимых значений параметров образующей и $D_{1.1}$ — домен входной и $D_{1.2}$ — выходной связи; $\rho_{1.1}$ — отношение согласования (отношение связи) для входной и $\rho_{1.2}$ — выходной связи.

Наполнение элементов вектора признаков соответствующими значениями параметров позволит перейти от абстрактной образующей к конкретной. Это наполнение будем производить в следующем порядке.

1. Определение атрибута образующей. В качестве атрибута (идентификатора образующей) примем $L_{1.i}$, где L — идентификатор образующей (line); 1 — индекс класса образующей; i — порядковый номер образующей в классе.

2. Определение множества допустимых значений доменов. Для определения множества допустимых значений доменов $D_1, D_{1.1}, D_{1.2}$ воспользуемся таблицей.

Домен D_1 содержит множество данных, относящихся ко всей образующей. Его можно представить так:

$$D_1 = \{T_i, L_j\}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, m, \quad (3)$$

где T_i — множество подмножеств параметров, характеризующих тип соединительной линии; L_j — множество всех допустимых значений, которые может принимать длина соединительной линии.

В свою очередь, множества T_i и L_j имеют вид

$$T_i = \{s_i, k_i, l_{\max i}, v_{\max i}\}, \quad L_j = \{l_1, l_2, \dots, l_m\}, \quad (4)$$

где i — номер подмножества T_i ($i = 1, 2, \dots, n$); j — номер множества L_j ($j = 1, 2, \dots, m$); s_i — обозначение типа линии по спецификации IEEE 802.3; k_i — категория кабеля; $l_{\max i}$ — максимально допустимая длина линии согласно спецификации IEEE 802.3; $v_{\max i}$ — максимальная пропускная способность линии.

Домен $D_{1.1}$ содержит множество данных, относящихся к входной связи образующей. Это множество запишем как

$$D_{1.1} = \{X_{\text{in}}, Y_{\text{in}}, Z_{\text{in}}, N_{p(\text{in})}\}, \quad (5)$$

где X_{in} — множество координат x_{in} точек соединения входной связи соединительной линии с выходной связью коммутационного устройства; Y_{in} — множество координат y_{in} ; Z_{in} — множество координат z_{in} ; $N_{p(\text{in})}$ — номер порта коммутационного устройства, к которому подключается входная связь соединительной линии.

Параметры соединительной линии

Наименование образующей	Наименование технологии сетевого соединения	Атрибут образующей	Наименование спецификации по IEEE802.3	Категория кабеля	Максимальная длина соединения, м	Максимальная пропускная способность, Мбит/с	Примечание
		γ_1	s_i	k_i	l_{\max}	ν_{\max}	
g_1	Fast Ethernet	L1.1	100Base-TX	UTP5	100	100	
g_2		L1.2	100Base-TX	STP1	100	100	
g_3		L1.3	100Base-T4	UTP3	100	100	
g_4		L1.4	100Base-T4	UTP4	100	100	
g_5		L1.5	100Base-T4	UTP5	100	100	
g_6		L1.6	100Base-FX	MMF	412	100	Многомодовое оптоволокно 62,5/125 мкм (полудуплекс)
g_7		L1.7	100Base-FX	MMF	2000	100	Многомодовое оптоволокно 62,5/125 мкм (дуплекс)
g_8	Gigabit Ethernet	L1.8	1000Base-SX	MMF	500	1000	Многомодовое оптоволокно 62,5/125 мкм, $\lambda=850\text{нм}$
g_9		L1.9	1000Base-SX	MMF	500	1000	Многомодовое оптоволокно 50/125 мкм, $\lambda=850\text{нм}$
g_{10}		L1.10	1000Base-LX	MMF	500	1000	Многомодовое оптоволокно 62,5/125 мкм, $\lambda=1300\text{нм}$
g_{11}		L1.11	1000Base-LX	MMF	500	1000	Многомодовое оптоволокно 50/125 мкм, $\lambda=1300\text{нм}$
g_{12}		L1.12	1000Base-LX	SMF	2000	1000	Одномодовое оптоволокно, $\lambda=1300\text{нм}$
g_{13}		L1.13	1000Base-CX	STP	25	1000	Экранированный сбаланс. медный кабель с волн. сопр. 150 Ом
g_{14}		L1.14	1000Base-T	UTP5	100	1000	Счетверенная неэкр. витая пара
g_{15}	10G Ethernet	L1.15	10GBase-LX4	MMF	200	10000	Многомодовое оптоволокно, $\lambda=1310\text{нм}$
g_{16}		L1.16	10GBase-LX4	SMF	10000	10000	Одномодовое оптоволокно, $\lambda=1310\text{нм}$
g_{17}		L1.17	10GBase-WS	SMF	10000	10000	Одномодовое оптоволокно, $\lambda=850\text{нм}$
g_{18}		L1.18	10GBase-WL	SMF	10000	10000	Одномодовое оптоволокно, $\lambda=1310\text{нм}$
g_{19}		L1.19	10GBase-WE	SMF	40000	10000	Одномодовое оптоволокно, $\lambda=1550\text{нм}$
g_{20}		L1.20	10GBase-RS	SMF	10000	10000	Одномодовое оптоволокно, $\lambda=850\text{нм}$
g_{21}		L1.21	10GBase-RL	SMF	10000	10000	Одномодовое оптоволокно, $\lambda=1310\text{нм}$
g_{22}		L1.22	10GBase-RE	SMF	40000	10000	Одномодовое оптоволокно, $\lambda=1550\text{нм}$

Домен $D_{1,2}$ содержит множество данных, относящихся к входной связи образующей. Это множество можно представить в виде

$$D_{1,2} = \{X_{\text{out}}, Y_{\text{out}}, Z_{\text{out}}, N_{p(\text{out})}\}, \quad (6)$$

где X_{out} — множество координат x_{out} точек соединения выходной связи соединительной линии с входной связью коммутационного устройства; Y_{out} — множество координат y_{out} ; Z_{out} — множество координат z_{out} ; $N_{p(\text{out})}$ — номер порта коммутационного устройства, к которому подключается выходная связь соединительной линии.

3. Определение показателей связи. Показатели связи образующей $g_i \beta_{1,1}$ и $\beta_{1,2}$ будут результатами конъюнкции параметров s_i и k_i (3). Тогда

$$\beta_{1,1}^{\text{in}} = \beta_{1,2}^{\text{out}} = s_i \wedge k_i. \quad (7)$$

4. Определение отношения согласования. Условием соединения $\beta_{\text{ком}}^{\text{out}}$ и $\beta_{\text{лин}}^{\text{in}}$, а также $\beta_{\text{лин}}^{\text{out}}$ и $\beta_{\text{ком}}^{\text{in}}$, является равенство

$$\begin{cases} \beta_{\text{ком}}^{\text{out}} = \beta_{\text{лин}}^{\text{in}}, \\ \beta_{\text{лин}}^{\text{out}} = \beta_{\text{ком}}^{\text{in}}, \end{cases} \quad (8)$$

где $\beta_{\text{ком}}^{\text{out}}$ — показатель выходной связи коммутационного устройства; $\beta_{\text{лин}}^{\text{in}}$ — показатель входной и $\beta_{\text{лин}}^{\text{out}}$ — выходной связи линии; $\beta_{\text{ком}}^{\text{in}}$ — показатель входной связи коммутационного устройства.

Формулы (2)–(8) являются математической моделью соединительной линии.

Образующие (рис. 5) можно объединить в паттерновую сеть (конфигурацию), если задать систему правил, определяющих, какие конфигурации можно считать допустимыми или регулярными [4]. Для этого найдем показатели связи β и отношение связи ρ .

Показатели связи β для всех входных и выходных связей являются результатом конъюнкции логических высказываний A и B , например: A — соединительный разъем RJ45; B — протокол физического уровня Fast Ethernet. Тогда значение показателя связи можно записать в виде логической формулы $\beta = A \wedge B$. Если считать отношение связи ρ равенством, то правило соединения образующих можно записать в виде $\beta^{\text{out}} \rho \beta^{\text{in}} \rightarrow \beta^{\text{out}} = \beta^{\text{in}}$.

Приведенные на рис. 5 образующие позволяют сформировать конфигурацию паттерновой сети PN для ЛКС типа «звезда» (рис. 7). Выполним ее формальное описание. Принимая во внимание, что все ветви являются идентичными, выкладки приведем для одной из них.

$$PN = \left\{ \begin{array}{l}
 \text{Состав} \left[\begin{array}{l}
 a(g_1) = a(1, \gamma_1, \beta_{11}^{\text{in}}, \beta_{13}^{\text{in}}, \beta_{12}^{\text{out}}, \beta_{14}^{\text{out}}) \\
 a(g_2) = a(2, \gamma_2, \beta_{21}^{\text{in}}, \beta_{2n}^{\text{in}}, \beta_{22}^{\text{out}}, \beta_{2n}^{\text{out}}) \\
 a(g_3) = a(3, \gamma_3, \beta_{31}^{\text{in}}, \beta_{33}^{\text{in}}, \beta_{32}^{\text{out}}, \beta_{34}^{\text{out}})
 \end{array} \right. \\
 \text{Связи} \left[\begin{array}{l}
 \text{Входные } \beta_{11}^{\text{in}}, \beta_{13}^{\text{in}}, \beta_{31}^{\text{in}}, \beta_{33}^{\text{in}}, \beta_{21}^{\text{in}}, \beta_{2n}^{\text{in}} \\
 \text{Выходные } \beta_{12}^{\text{out}}, \beta_{14}^{\text{out}}, \beta_{32}^{\text{out}}, \beta_{34}^{\text{out}}, \beta_{21}^{\text{out}}, \beta_{2n}^{\text{out}}
 \end{array} \right. \\
 \text{Структура} \left[\begin{array}{l}
 \beta_{14}^{\text{out}} \rho \beta_{31}^{\text{in}}; \beta_{34}^{\text{out}} \rho \beta_{21}^{\text{in}}; \beta_{21}^{\text{out}} \rho \beta_{33}^{\text{in}}; \\
 \beta_{32}^{\text{out}} \rho \beta_{13}^{\text{in}}; \rho - \text{соединение ИСТИНА} \\
 \beta^{\text{out}} \rho \beta_{11}^{\text{in}}; \beta^{\text{in}} \rho \beta_{12}^{\text{out}}; \beta^{\text{out}} \rho \beta_{2n}^{\text{in}}; \beta^{\text{in}} \rho \beta_{2n}^{\text{out}} \\
 \rho - \text{соединение ЛОЖЬ}
 \end{array} \right. \\
 \text{Связки } N_{23}, N_{31}, N_{13}, N_{32} \\
 \text{Содержание} \left[\begin{array}{l}
 D_1, D_2, D_3 \\
 D_{11}^{\text{in}}, D_{13}^{\text{in}}, D_{31}^{\text{in}}, D_{33}^{\text{in}}, D_{21}^{\text{in}}, D_{2n}^{\text{in}} \\
 D_{2n}^{\text{out}}, D_{21}^{\text{out}}, D_{34}^{\text{out}}, D_{32}^{\text{out}}, D_{14}^{\text{out}}, D_{12}^{\text{out}}
 \end{array} \right.
 \end{array} \right.$$

Если сравнить рис. 4 и рис. 7, то очевидно, что рис.7 содержит больше информации о структуре, составе и содержании ЛКС, чем графовая модель, что позволяет более детально подойти к процессу их анализа и синтеза.

ПРЕДСТАВЛЕНИЕ И-ИЛИ-ГРАФОВ (ДЕРЕВЬЕВ) ПАТТЕРНОВЫМИ СЕТЯМИ

Графы-деревья широко используются для построения различных сценариев, возникающих в процессе прогнозирования и исследования технических, экономических, социальных и других процессов и систем. Наиболее общей интерпретацией И-ИЛИ-графа является то, что его вершинам соответствуют отдельные задачи, а дуги отображают взаимосвязь между задачами.

Для отображения различного рода альтернатив на входах и выходах вершин графа могут быть использованы логические условия \wedge (И), \vee (ИЛИ) и $\overline{\vee}$ (логическая операция, исключающая ИЛИ). Причем любой тип входа может быть скомбинирован с любым типом выхода. Опыт построения рассматриваемых моделей показывает, что для отображения альтернативных ситуаций в реальном процессе можно выделить восемь типов вершин e , которые образуются различными комбинациями входов и выходов.

$$\wedge e \wedge, \wedge e \vee, \wedge e \overline{\vee}, \vee e \wedge, \vee e \vee, \vee e \overline{\vee}, \overline{\vee} e \vee, \overline{\vee} e \wedge.$$

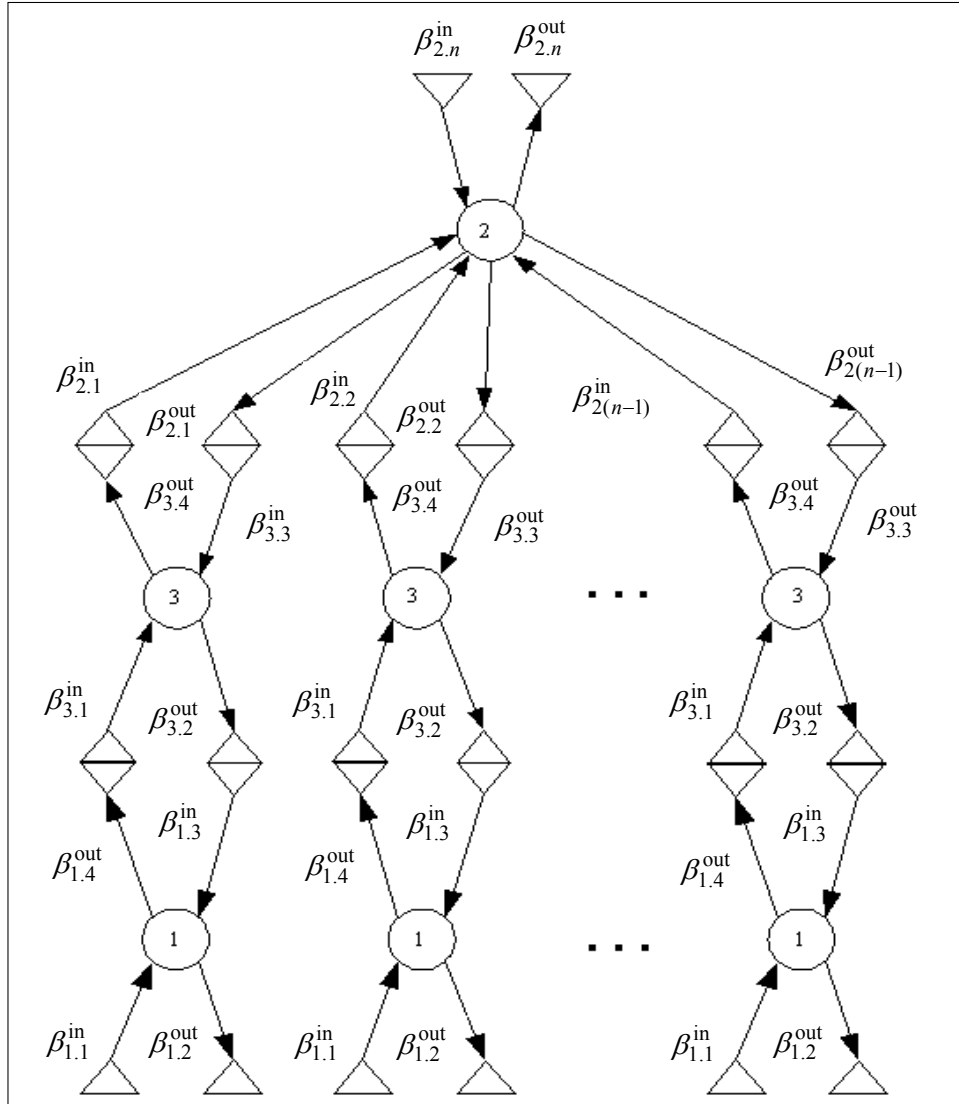


Рис. 7. Конфигурация паттерновой сети для ЛКС типа «звезда»

Например, тип вершины $\wedge e \bar{\vee}$ означает, что на входе e имеет место условие И, т.е. вершина e считается свершенной после окончания всех работ, непосредственно предшествующих ей, а условие $\bar{\vee}$ на выходе e означает, что будет реализована одна и только одна из всех работ, исходящих из нее.

Рассмотренные типы вершин можно представить паттерновыми образующими, связям которых приданы логические условия (рис. 8).

Выполним формальное описание каждой из образующих.

Образующая 1.

$$a(g_1) = a(1, \gamma_{11}, \beta_{1m}^{in}, \beta_{1r}^{out}, D_{11}, D_{1m}^{in}, D_{1r}^{out}),$$

$$m \geq 1, r \geq 1.$$

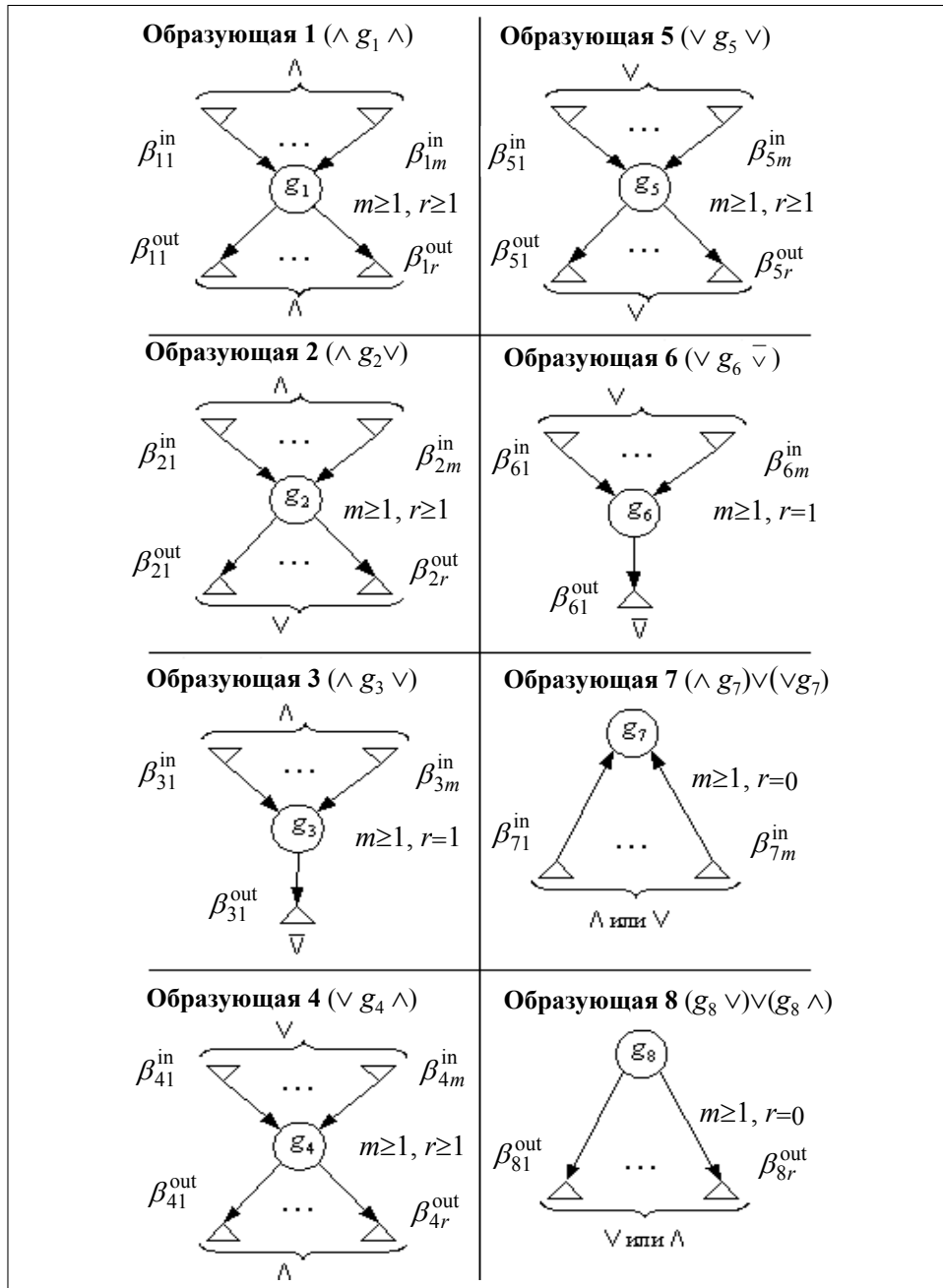


Рис. 8. Виды образующих, построенных по типовым вершинам графа типа «дерево»

$$D_{11} = \langle \text{ОБРАЗУЮЩАЯ } 1(\wedge g_1 \wedge) \rangle; D_{1m}^{\text{in}} = \langle \beta_{11}^{\text{in}} \wedge \beta_{12}^{\text{in}} \wedge \dots \wedge \beta_{1m}^{\text{in}} \rangle,$$

$$D_{1r}^{\text{out}} = \langle \beta_{11}^{\text{out}} \wedge \beta_{12}^{\text{out}} \wedge \dots \wedge \beta_{1r}^{\text{out}} \rangle.$$

Образующая 2.

$$a(g_2) = a(2, \gamma_{21}, \beta_{2m}^{\text{in}}, \beta_{2r}^{\text{out}}, D_{21}, D_{2m}^{\text{in}}, D_{2r}^{\text{out}}),$$

$$m \geq 1, r \geq 1.$$

$$D_{21} = \langle \text{ОБРАЗУЮЩАЯ } 2(\wedge g_2 \vee) \rangle; D_{2m}^{\text{in}} = \langle \beta_{21}^{\text{in}} \wedge \beta_{22}^{\text{in}} \wedge \dots \wedge \beta_{2m}^{\text{in}} \rangle,$$

$$D_{2r}^{\text{out}} = \langle \beta_{21}^{\text{out}} \vee \beta_{22}^{\text{out}} \vee \dots \vee \beta_{2r}^{\text{out}} \rangle.$$

Образующая 3.

$$a(g_3) = a(3, \gamma_{31}, \beta_{3m}^{\text{in}}, \beta_{3r}^{\text{out}}, D_{31}, D_{3m}^{\text{in}}, D_{3r}^{\text{out}}),$$

$$m \geq 1, r = 1.$$

$$D_{31} = \langle \text{ОБРАЗУЮЩАЯ } 3(\wedge g_3 \bar{\vee}) \rangle; D_{3m}^{\text{in}} = \langle \beta_{31}^{\text{in}} \wedge \beta_{32}^{\text{in}} \wedge \dots \wedge \beta_{3m}^{\text{in}} \rangle,$$

$$D_{3r}^{\text{out}} = \langle \beta_{31}^{\text{out}} \rangle.$$

Образующая 4.

$$a(g_4) = a(4, \gamma_{41}, \beta_{4m}^{\text{in}}, \beta_{4r}^{\text{out}}, D_{41}, D_{4m}^{\text{in}}, D_{4r}^{\text{out}}),$$

$$m \geq 1, r \geq 1.$$

$$D_{41} = \langle \text{ОБРАЗУЮЩАЯ } 4(\vee g_4 \wedge) \rangle; D_{4m}^{\text{in}} = \langle \beta_{41}^{\text{in}} \vee \beta_{42}^{\text{in}} \vee \dots \vee \beta_{4m}^{\text{in}} \rangle,$$

$$D_{4r}^{\text{out}} = \langle \beta_{41}^{\text{out}} \wedge \beta_{42}^{\text{out}} \wedge \dots \wedge \beta_{4r}^{\text{out}} \rangle.$$

Образующая 5.

$$a(g_5) = a(5, \gamma_{51}, \beta_{5m}^{\text{in}}, \beta_{5r}^{\text{out}}, D_{51}, D_{5m}^{\text{in}}, D_{5r}^{\text{out}}),$$

$$m \geq 1, r \geq 1.$$

$$D_{51} = \langle \text{ОБРАЗУЮЩАЯ } 5(\vee g_5 \vee) \rangle; D_{5m}^{\text{in}} = \langle \beta_{51}^{\text{in}} \vee \beta_{52}^{\text{in}} \vee \dots \vee \beta_{5m}^{\text{in}} \rangle,$$

$$D_{5r}^{\text{out}} = \langle \beta_{51}^{\text{out}} \vee \beta_{52}^{\text{out}} \vee \dots \vee \beta_{5r}^{\text{out}} \rangle.$$

Образующая 6.

$$a(g_6) = a(6, \gamma_{61}, \beta_{6m}^{\text{in}}, \beta_{6r}^{\text{out}}, D_{61}, D_{6m}^{\text{in}}, D_{6r}^{\text{out}}),$$

$$m \geq 1, r = 1.$$

$$D_{61} = \langle \text{ОБРАЗУЮЩАЯ } 6(\vee g_6 \bar{\vee}) \rangle; D_{6m}^{\text{in}} = \langle \beta_{61}^{\text{in}} \vee \beta_{62}^{\text{in}} \vee \dots \vee \beta_{6m}^{\text{in}} \rangle,$$

$$D_{6r}^{\text{out}} = \langle \beta_{61}^{\text{out}} \rangle.$$

Образующая 7.

$$a(g_7) = a(7, \gamma_{71}, \beta_{7m}^{\text{in}}, D_{71}, D_{7m}^{\text{in}}),$$

$$m \geq 1, r = 0.$$

$$D_{71} = \langle \text{ОБРАЗУЮЩАЯ } 7 (\wedge g_7) \vee (\vee g_7) \rangle,$$

$$D_{7m}^{\text{in}} = \langle \beta_{71}^{\text{in}} \wedge \beta_{72}^{\text{in}} \wedge \dots \wedge \beta_{7m}^{\text{in}} \rangle \vee \langle \beta_{71}^{\text{in}} \vee \beta_{72}^{\text{in}} \vee \dots \vee \beta_{7m}^{\text{in}} \rangle.$$

Образующая 8.

$$a(g_8) = a(8, \gamma_{81}, \beta_{8r}^{\text{out}}, D_{81}, D_{8r}^{\text{out}}),$$

$$m \geq 1, r = 0.$$

$$D_{81} = \langle \text{ОБРАЗУЮЩАЯ } 8 (g_8 \vee) \vee (g_8 \wedge) \rangle,$$

$$D_{8r}^{\text{out}} = \langle \beta_{81}^{\text{out}} \vee \beta_{82}^{\text{out}} \vee \dots \vee \beta_{8r}^{\text{out}} \rangle \vee \langle \beta_{81}^{\text{out}} \wedge \beta_{82}^{\text{out}} \wedge \dots \wedge \beta_{8r}^{\text{out}} \rangle.$$

Из представленных образующих путем попарного соединения составляются паттерновые сети при наличии идентичности логических условий на входных и выходных связях β^{in} и β^{out} . Эти условия являются основными для формирования отношения связи ρ ($\beta^{\text{in}} \rho \beta^{\text{out}}$).

Например, рассмотрим процедуру соединения в сеть образующих g_1 и g_2 (рис. 9) для формализации ρ . Пусть $P_n = \{\rho_j\}, j = 1, \dots, k$ — множество отношений связей и $B_{\wedge}^{\text{out}} = \{\beta_1^{\text{out}} \wedge \beta_2^{\text{out}} \wedge \dots \wedge \beta_r^{\text{out}}\}, B_{\wedge}^{\text{in}} = \{\beta_1^{\text{in}} \wedge \beta_2^{\text{in}} \wedge \dots \wedge \beta_m^{\text{in}}\}$ — соответственно множества входных и выходных связей, объединенных одной и той же логической функцией. Тогда

$$\exists \rho \in P_n \overset{\text{соединено}}{\Rightarrow} \begin{cases} [\exists (\beta_{1i}^{\text{out}} \in B^{\text{out}}) \wedge \exists (\beta_{2i}^{\text{in}} \in B^{\text{in}})] - \text{ИСТИНА,} \\ [\exists (\beta_{1i}^{\text{out}} \notin B^{\text{out}}) \wedge \exists (\beta_{2i}^{\text{in}} \notin B^{\text{in}})] - \text{ЛОЖЬ.} \end{cases}$$

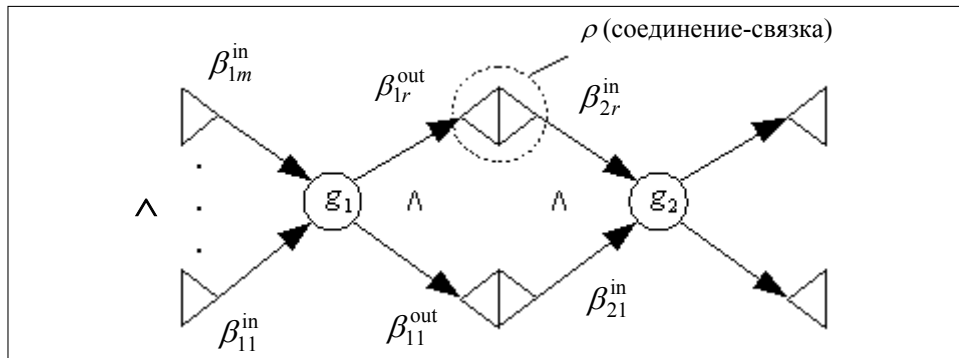


Рис. 9. Схема связывания образующих в сеть

Из представленных образующих путем попарного соединения составляются паттерновые сети при наличии идентичности логических условий на входных и выходных связях β^{in} и β^{out} . Эти условия являются основными для формирования отношения связи ρ ($\beta^{\text{in}} \rho \beta^{\text{out}}$).

ВЫВОДЫ

1. Паттерновые сети, наряду с табличными и графовыми методами представления и анализа систем, можно рассматривать как новый инструмент математического моделирования и инженерного проектирования модульных систем.

2. Применение паттерновых сетей при анализе и синтезе модульных систем позволяет более детально представлять модели информационных структур и потоков.

3. Путем варьирования значений параметров m и r в векторе (1), можно генерировать различные виды образующих и на этой основе создавать базы данных для автоматизированного проектирования различных модульных систем.

4. В работе [5] доказано единство модульных, графовых и табличных моделей информационных систем, что дает возможность использовать их как отдельно, так и в различных сочетаниях.

5. Дискретная теория паттернов и паттерновых сетей находится на начальной стадии своего становления и дальнейшее ее развитие, несомненно, расширит сферу практических приложений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гренандер У. Лекции по теории образов: Синтез образов / Пер. с англ. — М.: Мир, 1979. — 383 с.
2. Гренандер У. Лекции по теории образов: Анализ образов / Пер. с англ. — М.: Мир, 1981. — 446 с.
3. Гренандер У. Лекции по теории образов: Регулярные структуры / Пер. с англ. — М.: Мир, 1983. — 432 с.
4. Grenander U. General Pattern Theory. — Oxford: University Press, 1993. — 904 p.
5. Шуткин Л.В. Новое мышление компьютерного мира: паттерновые сети для моделирования информационных систем. — НТИ. — Сер. 2 // Информационные процессы и системы. — 2001. — № 6. — С. 5–17.
6. Мамиконов А.Г., Кульба В.В. Синтез оптимальных модульных систем обработки данных. — М.: Наука, 1986. — 275 с.
7. Трахтенгерц Э.А. Программное обеспечение автоматизированных систем управления. — М.: Статистика, 1974. — 288 с.

Поступила 17.12.2008

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ КОЛИЧЕСТВЕННЫХ МЕТОДОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

П.В. БУДАЕВ

Рассмотрена практика применения количественных методов прогнозирования с помощью программы SPSS. Предложен алгоритм построения, оценки и тестирования широко распространенных моделей. Приведены примеры прогнозирования продаж с использованием описанных моделей на производственном предприятии.

В современных условиях любое предприятие, независимо от его географического расположения и рынков, на которых оно работает, сталкивается с проблемой принятия оптимального решения. Под оптимальным в данном случае понимается решение, которое

- принимается на основе полной, объективной и достоверной информации, получаемой из разных источников достаточно длительный период времени;
- соответствует стратегии, маркетинговым и финансовым целям предприятия;
- выбирается в результате правильной оценки возможных рисков.

Как правило, обстоятельства вынуждают действовать в условиях ограниченного времени, большой номенклатуры оказываемых услуг, высоких затрат, связанных с подготовкой и динамично меняющейся ситуацией на рынках. Поэтому целесообразно максимально автоматизировать процесс принятия решений.

Базисом принятия решения в рамках выбранной стратегии предприятия является прогноз продаж. Прогнозируя и оценивая возможный сбыт, предприятие может планировать свою деятельность и оценивать затраты. Понятно, что чем более высокая точность прогнозирования, тем больше шансов для принятия оптимальных решений, а, следовательно, повышения конкурентоспособности и прибыльности предприятия.

Инструментом для принятия оптимального решения служит информационно-аналитическая система предприятия, а ее основой — накопленная информация и методы обработки. В свою очередь, накопленная информация делится на формализованную (статистические данные, отраслевые отчеты, исследования рынка и т.д.), слабо формализованную (новости, новые технологии, перспективные разработки и открытия в отрасли) и неформализованную (знания, интуиция и опыт экспертов). Соответственно разнятся методы обработки этой информации, условно разделяемые на **количественные** (для формализованных данных) и **качественные** (для слабо и неформализованных данных).

Существует достаточное количество работ, в которых детально описаны как количественные [5–8] (наиболее используемые из них — прогнози-

рование числовых рядов [7, 8]), так и качественные методы [1, 2, 4]. Тем не менее, проблема их практического применения в условиях реально действующего производственного предприятия остается актуальной.

Цель настоящей статьи — систематизация подхода к выбору количественных методов обработки информации, выбор и оценка математических моделей и методов прогнозирования, а также разработка рекомендаций для их практического применения.

На практике процесс прогнозирования представляет собой последовательность действий (рис. 1).

На этапе **сбора данных** используется информационно-аналитическая система предприятия, а ЛПР (лицо, принимающее решение) должно удостовериться в правильности данных и источнике их происхождения.

На этапе **постановки задачи** определяется предмет прогнозирования и выбираются его параметры — горизонт и шаг. Для кратко- и среднесрочных (от одного до пяти лет) прогнозов шаг прогнозирования, как правило, выбирается в один месяц или квартал.

Построение и оценка моделей — ключевой момент прогнозирования. Классифицируются модели в зависимости от горизонта планирования (табл. 1).

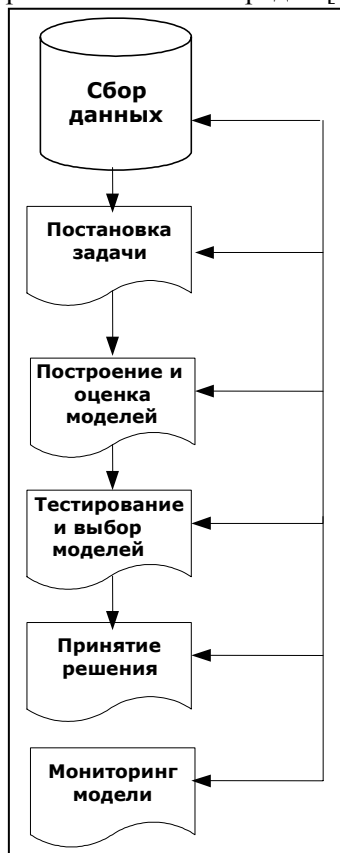


Рис. 1. Структура процесса прогнозирования в виде последовательности формализованных действий

Таблица 1. Классификация моделей прогнозирования

Тип	Класс	Горизонт планирования
Модели временных рядов	Сглаживания	Краткосрочный
	Подгонка кривыми	Кратко- и среднесрочный
	Сезонная модель	— // — // —
	Линейная регрессия	— // — // —
Казуальные модели	Парная и множественная регрессии	Кратко-, средне- и долгосрочный

Тестирование и выбор моделей. После проведения оценки моделей необходимо их протестировать. Наилучший и проверенный на практике метод тестирования — испытание модели на заранее известных результатах. Анализ ошибок позволяет корректировать саму модель.

Принятие решения. ЛПР делает выбор в пользу той или иной модели и оценивает возможные последствия своего решения.

Мониторинг модели. Сравнение полученных результатов, оценка ошибки прогнозирования, объяснение причины ее возникновения и поиски возможности использования выбранной модели в дальнейшем.

Рассмотрим использование перечисленных в табл. 1 моделей более подробно на практических примерах.

Модели подгонки кривыми (экстраполяция). Суть модели: найти кривую или группу кривых, с достаточной точностью описывающих историческую информацию [5]. С их помощью найти тренд в исходной информации, т.е. выявить общую тенденцию в изменении данных, на основании которой можно предполагать наличие прогнозируемых данных на найденном тренде. Прогнозирование с использованием этого метода применяется в случае стабильных во времени продаж с ярко выраженным трендом для товаров с неэластичным спросом.

Основные 11 уравнений кривых для прогнозирования приведены в табл. 2.

Таблица 2. Уравнения основных типов кривых

Наименование	Уравнение
Линейная	$y = b_1 + b_2 t$
Парабола	$y = b_1 + b_2 t + b_3 t^2$
Логарифмическая	$y = b_1 + b_2 \ln(t)$
Многочлен третьей степени	$y = b_1 + b_2 t + b_3 t^2 + b_4 t^3$
Экспоненциальная	$y = b_1 \exp(b_2 t)$
График степенной функции	$y = b_1 (t^{b_2})$
Гипербола	$y = b_1 + \frac{b_2}{t}$
S-кривая	$y = \exp(b_1 + \frac{b_2}{t})$
Обратная	$y = b_0 + \frac{b_1}{t}$
Составная	$y = b_0 * b_1^t$
Логистическая	$y = \frac{1}{1/b_1 + b_2 (b_3^t)}$

Для прогнозирования методом подгонки кривых рекомендуется использовать специализированное программное обеспечение, например, SPSS (12-я версия и выше русифицированы). В процессе автоматизированного построения кривых с помощью этого пакета применен принцип минимизации среднеквадратичной ошибки MSE (mean squared error) [5].

$$MSE = \frac{\sum e_i^2}{n},$$

где $e_i = Y_i - \hat{Y}_i$ — разность между имеющимся значением и значением, находящимся на кривой подгонки (так называемый остаток).

По имеющимся значениям продаж SPSS достаточно легко строит все перечисленные кривые, а также рассчитывает основной критерий оценки выбора — коэффициент детерминации

$$R^2 = 1 - \frac{MSE}{Var(Y)}, \text{ где } Var(Y) = \sum (Y_i - \bar{Y})^2.$$

Из определения видно, что равенство $R^2 = 1$ возможно в том случае, если процесс поведения данных в точности описывается моделью. Т.е., чем ближе значение R^2 к единице, тем более точно кривая описывает поведение данных.

На практике для оценки выбора той или иной модели применяют также другой показатель — MAPE (mean absolute percent error) [5].

Имея данные продаж ($V_{пр}$) некоей номенклатурной единицы, производимой предприятием, необходимо сделать прогноз продаж на следующий квартал — 21, 22 и 23-й месяцы. Для этого по имеющимся исходным данным (табл. 3) с помощью программного пакета SPSS построены 11 кривых подгонки, рассчитаны значения R^2 для каждой модели и получены прогнозы значения объема продаж на следующий квартал. Задача состоит в выборе модели, прогноз которой наиболее точен.

Остановимся на двух моделях с максимальным значением R^2 — кубической и квадратичной. Рассчитанные SPSS значения этого параметра равны 0,871 у кубической модели и 0,860 — у квадратичной.

Теперь нам понадобится сравнить значения MAPE этих моделей.

Таблица 3. Сравнение квадратичной и кубической моделей

Месяц	$V_{пр}, Y$	Квадратичная модель			Кубическая модель		
		Y	e	MAPE, %	Y	e	MAPE, %
1	2698	2200,44	497,56	22,61	2736,14	-38,13789	-1,39
2	2962	2690,12	271,88	10,11	2887,48	74,52076	2,58
3	2720	3171,68	-451,68	-14,24	3124,69	-404,68961	-12,95
4	1948	3645,13	-1697,13	-46,56	3436,71	-1488,7124	-43,32
5	5667	4110,47	1556,53	37,87	3812,49	1854,50901	48,64
6	4619	4567,69	51,31	1,12	4240,97	378,03124	8,91
7	5569	5016,8	552,2	11,01	4711,09	857,91091	18,21
8	5797	5457,81	339,19	6,21	5211,8	585,20463	11,23
9	6023	5890,69	132,31	2,25	5732,03	290,96902	5,08
10	4348	6315,47	-1967,47	-31,15	6260,74	-1912,7393	-30,55
11	6261	6732,13	-471,13	-7,00	6786,86	-525,86371	-7,75
12	6701	7140,69	-439,69	-6,16	7299,35	-598,34761	-8,20
13	7690	7541,12	148,88	1,97	7787,13	-97,13436	-1,25
14	7247	7933,45	-686,45	-8,65	8239,17	-992,16737	-12,04
15	8994	8317,67	676,33	8,13	8644,39	349,61	4,04
16	11041	8693,77	2347,23	27,00	8991,75	2049,25436	22,79
17	9521	9061,76	459,24	5,07	9270,18	250,82232	2,71
18	9740	9421,64	318,36	3,38	9468,63	271,3705	2,87
19	9212	9773,41	-561,41	-5,74	9576,04	-364,04448	-3,80
20	9041	10117,06	-1076,06	-10,64	9581,37	-540,36601	-5,64

Особый интерес представляет поведение модели в последние месяцы. Очевидно, что наши данные более точно описывает кубическая модель. Тем не менее, для окончательного выбора той или иной модели необходимо провести ее тестирование. Предпочтительней с практической точки зрения метод тестирования **ex-post-прогнозирование** [5]. Он применяется следующим образом.

1. Разбиваем исходные данные на две группы (первая — 85% данных, вторая — 15).
2. Производим имитацию процесса прогнозирования на один шаг, чтобы провести оценку работоспособности модели при сопоставлении с исходными данными.
3. Определяем разницу между смоделированным и прогнозным значениями (ошибкой прогнозирования).
4. Оцениваем ошибку прогнозирования.
5. Повторяем пп. 2–4 до последнего значения исходных данных.
6. Делаем выводы и принимаем решение в пользу одной из моделей, среднее значение MAPE которой минимально.

Рассмотрим применение этого метода на предыдущем примере, проведя оценку результатов ex-post-прогнозирования обеих моделей для значений 18, 19 и 20-го месяцев. Для этого по значениям 17-ти месяцев построим прогнозное значение на 18-й месяц, по значениям 18-ти месяцев спрогнозируем 19-й месяц и т.д. (табл. 4).

Таблица 4. Результаты оценки моделей подгонки кривыми

Исторические данные		Квадратичная модель			Кубическая модель		
Месяц	$V_{пр}, Y$	Y	e	MAPE, %	Y	e	MAPE, %
18	9740	10768,75	-1028,75	10,56	11556,54	-1816,54	18,65
19	9212	10957,82	-1745,82	18,95	11170,05	-1958,05	21,26
20	9041	10751,15	-1710,15	18,92	10275,5	-1234,5	13,65
				16,14			17,85

Из полученных результатов можно сделать вывод: для прогнозирования будущих значений целесообразно выбрать квадратичную модель, среднее значение MAPE которой за последние три месяца меньше, чем у кубической модели.

Модели сглаживания применяются для построения краткосрочных прогнозов для временных рядов, не имеющих тренда. Здесь игнорируются изменения, вызванные случайными факторами, а последним исходным значениям придается больший вес по сравнению с ранними значениями. При этом подразумевается, что все основные факторы, влияющие на исследуемый показатель, продолжают свое действие на горизонте прогнозирования, и определенная тенденция останется в силе на ближайший период. Такие модели целесообразно применять для зрелых рынков со сложившимся балансом сил и низкой вероятностью качественных изменений, которые могли бы повлиять на ситуацию.

Модель скользящего среднего (moving average model) [3] — наиболее простая и часто применяемая модель.

$$\hat{Y}_t = \frac{(Y_{t-1} + Y_{t-2} + Y_{t-3} + \dots + Y_{t-k})}{k},$$

где \hat{Y} — прогнозируемое значение; t — шаг прогнозирования; k — порядок скользящего среднего; Y_t — истинные значения.

Термин «скользящее среднее» используется потому, что новое среднее значение вычисляется и служит в качестве прогноза каждый раз, когда мы его производим. При прогнозировании следующего значения метод скользящего среднего придает равные веса каждому из последних значений. Наиболее удобным для практического применения этого метода является MS EXCEL. Используя функцию пакета СРЗНАЧ (Ячейка NN:Ячейка MM), где NN и MM — ячейки с историческими данными, можно получить среднее значение для имеющихся данных. Важно отметить, что минимальное значение используемых данных — три (меньшее количество не отражает тенденцию, большое — ее сглаживает). Метод является очень быстрым, но очень неточным способом получения прогноза.

Модель экспоненциально взвешенного скользящего среднего (exponentially weighted moving average (EWMA) [3] — разновидность метода скользящего среднего. Суть метода:

- каждое новое значение определяется совокупностью всех предыдущих значений;
- влияние предыдущих данных ослабевает в геометрической прогрессии

$$\hat{Y}_t = Y_{t-1} + \alpha Y_{t-2} + \alpha^2 Y_{t-3} + \dots + \alpha^{n-1} Y_{t-k} \text{ при } 0 \leq \alpha \leq 1,$$

а в случае, если $n \rightarrow \infty$,

$$Y_t = (1 - \alpha)Y_{t-1} + \alpha Y_{t-1}.$$

Основной задачей, существенно влияющей на эффективность использования данного метода, является выбор так называемой константы сглаживания α в диапазоне от нуля до единицы. Высокие значения α придают больший вес последним наблюдениям и меньший — более давним. Число $(1 - \alpha)$ называется константой сглаживания. В случае использования пакета SPSS значение α предлагается выбрать по сетке с указанным шагом, а наиболее подходящее значение α определяется на этапе тестирования и выбора модели через ex-post-прогнозирование.

Двойное экспоненциальное сглаживание (double exponential smoothing model) [3] получается посредством двойного применения модели экспоненциального сглаживания. Т. е. сначала модель экспоненциального сглаживания применяется к исходным данным, а затем к смоделированным значениям, полученным на первом этапе. При повторном моделировании возможно изменение константы $(1 - \alpha)$. Перечисленные модели сглаживания применимы к данным, не имеющим тренда.

Модель Холта [5] применяют, если необходимо учитывать тренд. Основная идея метода: добавление значения тренда к прогнозируемому модели экспоненциального сглаживания значению

$$Y_t = (1 - \alpha)Y_{t-1} + \alpha Y_{t-1} + T_{t-1}, \quad (1)$$

где

$$T_t = (1 - \beta)(\hat{Y}_t - \hat{Y}_{t-1}) + \beta T_{t-1} \text{ при } 0 \leq \beta \leq 1. \quad (2)$$

Чтобы найти прогнозное значение \hat{Y}_t с использованием модели Холта, необходимо выполнить следующие процедуры.

1. Определить величину параметров α и β методом минимизации МАРЕ.

2. Найти начальные значения \hat{Y}_1 и T_1 как $\hat{Y}_1 = \bar{Y}$ или $\hat{Y}_1 = Y_1$, а

$$T_1 = \frac{(Y_2 - Y_1) + (Y_4 - Y_3)}{2}.$$

3. Попеременно найти \hat{Y}_t из уравнения (1) и T_t из уравнения (2).

4. Сделать прогноз на m шагов вперед, предполагая, что последнее значение тренда останется неизменным для будущих прогнозов.

$$P_{n+m} = \hat{Y}_n + mT_n.$$

Модель Брауна [5] учитывает тренд двойного экспоненциального сглаживания и дает достаточно точный краткосрочный прогноз. К значению модели добавляется простое экспоненциальное сглаживание разницы в значениях между простым и двойным сглаживанием, умноженное на коэффициент, обратно пропорциональный α .

$$\hat{Y}_{t+1} = \hat{Y}_t + \frac{\hat{Y}'_t - \hat{Y}''_t}{\alpha}.$$

Прогноз на m шагов вперед определяется формулой

$$P_{n+m} = \hat{Y}_n + (\hat{Y}'_n - \hat{Y}''_n) \left(1 + \frac{m(1 - \alpha)}{\alpha}\right).$$

Значения α при этом определяются минимизацией МАРЕ.

В качестве примера применения моделей Холта и Брауна рассмотрим поведение продаж другой номенклатурной единицы (рис. 2).

Попытка применить к имеющимся данным метод подгонки кривыми дал очень невысокие значения R^2 — от 0,004 до 0,12, что, очевидно, означает отсутствие тренда.

Применим модели EWMA, Холта и Брауна к имеющимся значениям. Как всегда, наибольший интерес представляет оценка поведения этих моделей методом ex-post-прогнозирования (табл. 5).

Очевидно, что в данном случае следует выбрать модель Холта, как наиболее точно описывающую наши данные. Видно, что среднее значение МАРЕ этой модели минимально.

Перечисленные модели хорошо работают для данных, не имеющих тренда для получения краткосрочного прогноза. Если значения трендов нам не важны, применяются модели скользящего среднего, экспоненциально взвешенного скользящего среднего, двойного экспоненциального сглаживания. Для учета тренда, определяемого последними значениями, применяются модели Холта и Брауна.

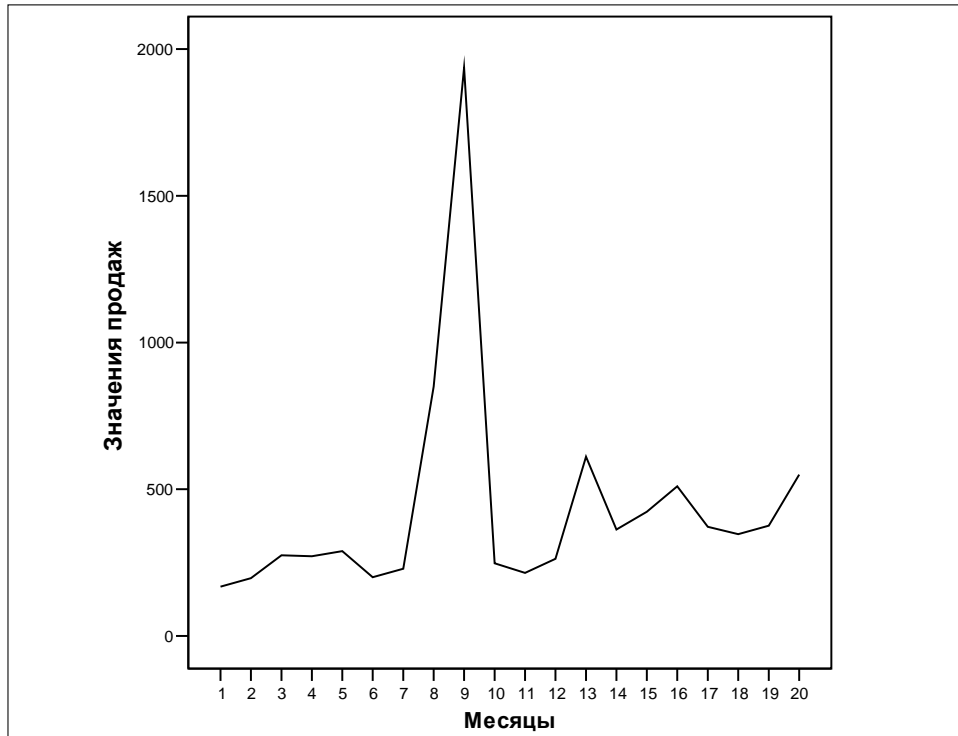


Рис. 2. График продаж номенклатурной единицы

Таблица 5. Результаты оценки моделей сглаживания

Исторические данные	EWMA				Холта			Брауна			
	Ме-сяц	$V_{пр}, Y$	Y	e	MAPE, %	Y	e	MAPE, %	Y	e	MAPE, %
	18	347	372,18	-25,18	7,26	423,39	-76,39	-22,01	379,49	-32,49	-9,36
	19	376	373,34	2,66	0,71	359,49	16,51	4,39	369,04	6,96	1,85
	20	550	448,97	101,03	18,37	389,04	160,96	29,27	436,14	113,86	20,70
					8,78			3,88			4,40

Сезонные модели служат для получения прогнозов при работе с услугами, продажи которых носят сезонный характер. Прогноз в таком случае базируется на факторах тренда и сезонности (повышение или понижение тренда с одинаковыми промежутками времени).

Прогнозное значение \hat{Y}_t определяется как

$$\hat{Y}_t = d_t S_t,$$

где S_t — коэффициент сезонности; d_t — десезонализованное значение.

В случае отсутствия тренда процесс нахождения сезонных коэффициентов и прогнозирования с их помощью основывается на предположении,

что исходные данные совершают колебания вокруг своего среднего значения, и в будущем этот процесс не изменится.

Алгоритм прогнозирования в таком случае достаточно прост.

1. Вычисляется среднее значение за исторический период.
2. Вычисляются коэффициенты сезонности.
3. Прогнозируется среднее значение на горизонт прогнозирования.
4. Корректируется среднее значение на коэффициент сезонности.

Покажем это на примере номенклатурной единицы, значения данных продаж которой приведены в табл. 6, а график — на рис. 3. Видно, что среднее значение продаж в 2006 и 2007 гг. практически не изменилось. Применение коэффициентов сезонности 2006 г. в качестве прогнозных на соответствующий интервал 2007 г. дало неплохие результаты ($MAPE = 8,86\%$). Сделав предположение о среднем значении продаж на 2008 г. в количестве 550 штук и применив соответствующие коэффициенты сезонности 2007 г., получим прогноз продаж на первый квартал 2008 г. по месяцам.

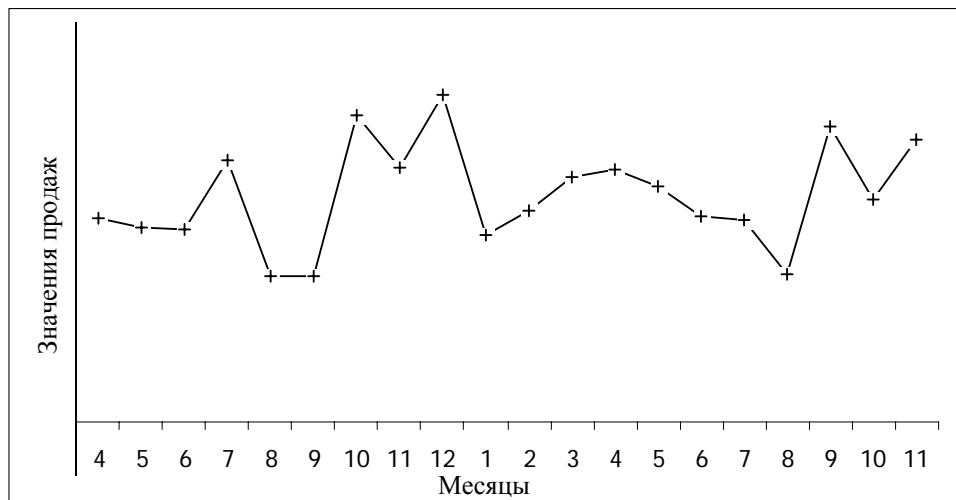


Рис. 3. График продаж номенклатурной единицы

Таблица 6. Результаты прогнозирования с помощью сезонной модели без тренда

Год	Месяц	$V_{пр}, Y$	S	Прогнозное значение	e	MAPE, %
2007	4	491,0	0,90			
	5	467,0	0,86			
	6	464,0	0,85			
	7	628,0	1,16			
	8	352,0	0,65			
	9	353,0	0,65			
	10	739,0	1,36			
	11	611,0	1,12			
	12	786,0	1,45			
	Среднее	543,4				

Окончание табл. 6

2008	1	448,0	0,82			
	2	510,0	0,94			
	3	588,0	1,08			
	4	609,0	1,12	491,00	118,00	19,38
	5	569,0	1,04	404,80	164,20	28,86
	6	497,0	0,91	460,82	36,18	7,28
	8	488,0	0,90	531,30	-43,30	-8,87
	9	356,0	0,65	550,27	-194,27	-54,57
	10	710,0	1,30	514,13	195,87	27,59
	11	535,0	0,98	449,07	85,93	16,06
	12	680,0	1,25	440,94	239,06	35,16
		Среднее	544,5			
2009	1			452		
	2			515		
	3			594		

Более сложным методом определяются коэффициенты сезонности при наличии тренда (рис. 4).

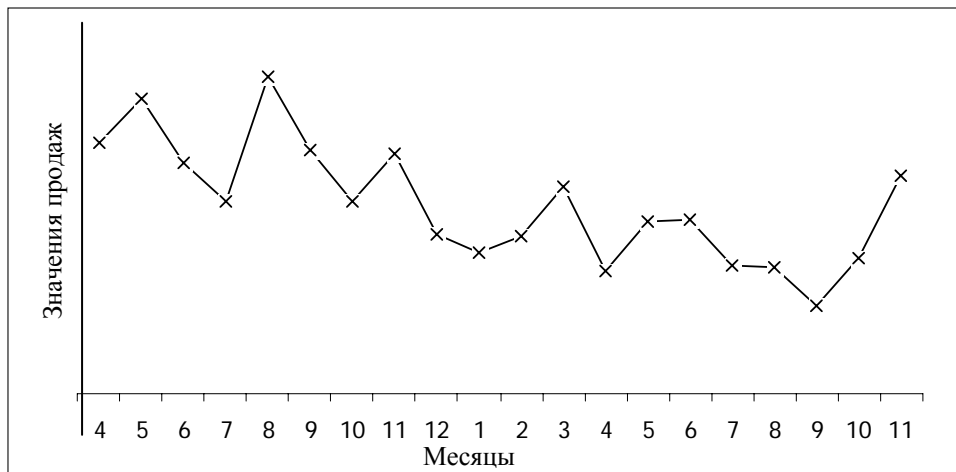


Рис. 4. График продаж номенклатурной единицы

Алгоритм нахождения сезонных коэффициентов и прогноза следующий.

1. Находим скользящее среднее d'_t первого порядка для исходного ряда Y_t .

2. Находим центрированное скользящее среднее d''_t второго порядка для ряда d'_t .

3. Находим неусредненные значения коэффициентов сезонности $S' = \frac{Y_t}{d''_t}$.

4. Находим окончательные десезонализированные значения.

5. Строим прогнозную модель по десезонализированным значениям.

6. Корректируем прогнозные значения на соответствующие коэффициенты сезонности.

Результаты вычислений приведены в табл. 7.

Таблица 7. Результаты прогнозирования с помощью сезонной модели с трендом

Год	Месяц	$V_{пр}, Y$	Скользящее среднее d'	Скользящее среднее d''	S	Десезонализированное значение d
2007	4	478,0				
	5	562,0	493,3			
	6	440,0	461,8	477,5	1,09	405,41
	7	367,0	493,3	477,5	1,30	282,07
	8	604,0	469,3	481,3	0,80	758,06
	9	466,0	451,5	460,4	0,99	471,69
	10	369,0	474,8	463,1	1,26	294,00
	11	460,0	399,5	437,1	0,95	484,07
	12	303,0	350,3	374,9	1,24	244,91
2008	1	269,0	333,0	341,6	1,27	211,81
	2	300,0	317,0	325,0	1,08	276,92
	3	396,0	299,5	308,3	0,78	508,73
	4	233,0	314,5	307,0	1,32	176,84
	5	329,0	323,0	318,8	0,97	339,58
	6	334,0	285,5	304,3	0,91	366,66
	7	246,0	287,3	286,4	1,16	211,32
	8	240,0	246,8	267,0	1,11	215,73
	9	167,0	227,8	237,3	1,42	117,55
	10	258,0	270,8	249,3	0,97	267,06
	11	418,0	310,0			
	12	397,0				

Для получения прогноза необходимо на основе десезонализированных значений построить прогнозную модель, например, с помощью одной из кривой подгонки, после чего, выбрав коэффициенты сезонности, скорректировать прогнозные значения на соответствующий коэффициент.

Модель линейной регрессии [4] применяется в том случае, когда стабильность прогнозируемого значения нам гораздо важнее точности, например, при прогнозировании финансовых показателей компании. Если использование предыдущих моделей давало единственное значение прогнозируемой величины, то теперь результатом прогнозирования является числовой интервал. Прогноз продаж в таком случае выглядит так: «Объем продаж с вероятностью 95% будет находиться в диапазоне 3100–3500 шекелей». Единственная сложность заключается в том, чтобы понять, действительно ли наша линейная модель описывает поведение значений. Для этого проводят несколько тестов модели. Наиболее показательным, на наш взгляд, является тест рекурсивной оценки ошибок регрессии.

Модель линейной регрессии выглядит так:

$$Y_i = \beta_1 + \beta_2 X_i + \varepsilon_i,$$

где β_1, β_2 — константы модели; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_n$ — нормальные случайные величины с одним и тем же математическим ожиданием, равным нулю и стандартным отклонением σ ; X_i — константа.

На практике предполагается, что $i=1, 2, \dots, n$ соответствуют моментам времени, имеющим одинаковый шаг (неделя, месяц, квартал).

Рассмотрим применение этой модели на практическом примере, взяв за основу данные табл. 2.

Применив для построения уравнения линейной регрессии программный пакет SPSS, мы можем достаточно легко получить прогноз на ближайшие три месяца. Однако наибольший интерес в данном случае представляет собой не точность самого прогноза, а адекватность модели, т.е., насколько параметры модели стабильны и соответствуют реальным значениям за последние шесть месяцев. Для этого необходимо протестировать ошибку регрессии e на рекурсивность, проверив ее нахождение в течение интересующего периода с вероятностью 95% в доверительном интервале, последовательно построив модели. Так, по значениям продаж за предыдущие 14 месяцев строится прогноз на 15-й месяц, по результатам 15 месяцев — на 16-й и т.д. (табл. 8, рис. 5).

Таблица 8. Результаты прогнозирования с помощью модели линейной регрессии

Месяц	$V_{пр}, Y$	Y лин. регр.	e лин. регр.	Нижняя граница 95%	Верхняя граница 95%	Длина интервала
15 (1)	8994	8264,94	729,06	7651,27	8878,61	613,67
16 (2)	11041	8681,60	2359,40	8013,03	9350,16	668,56
17 (3)	9521	9098,27	422,74	8369,26	9827,27	729,01
18 (4)	9740	9514,93	225,07	8721,20	10308,65	793,72
19 (5)	9212	9931,59	-719,59	9069,84	10793,35	861,76
20 (6)	9041	10348,26	-1307,26	9415,88	11280,63	932,38

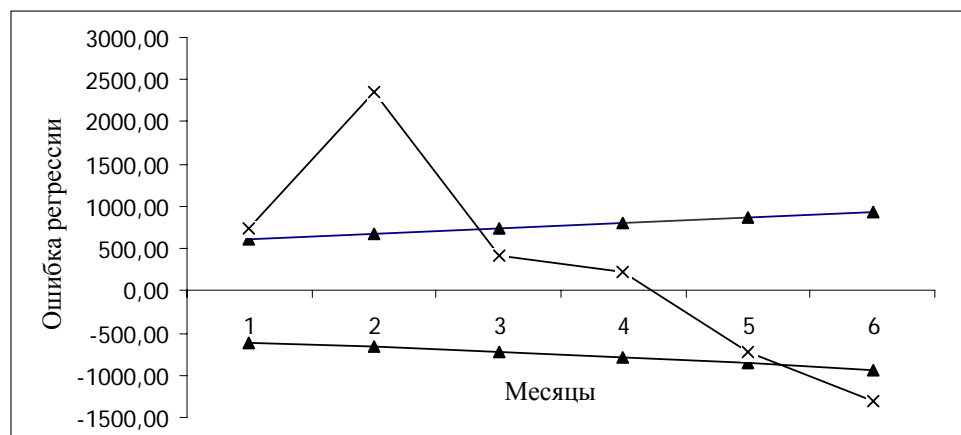


Рис. 5. График нахождения ошибки регрессии в доверительном интервале

Длина доверительного интервала со временем увеличивается, ухудшая тем самым точность прогнозирования. Главное заключается в том, что

ошибка прогнозирования из шести наблюдений только трижды попала в доверительный интервал. Следовательно, предложенная модель линейной регрессии для этих данных не является адекватной и ее не следует использовать в таком случае.

Модель множественной регрессии. В предыдущей модели мы использовали два регрессора — время и значения продаж. В модели множественной регрессии таких регрессоров может быть несколько — уровень доходов потребителей, цены на продукты конкурентов, расходы на рекламу и др. Может быть построена регрессионная модель, уравнение которой имеет вид

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_i^{(1)} + \beta_2 X_i^{(2)} + \dots + \beta_k X_i^{(k)} + \varepsilon_i,$$

где $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_k$ — константы модели; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3, \dots, \varepsilon_n$ — нормальные случайные величины с одним и тем же математическим ожиданием, равным нулю и стандартным отклонением σ ; $i = 1, 2, \dots, n$.

При $k \geq 2$ модель называется моделью множественной регрессии.

Все регрессоры можно разделить на контролируемые (например, расходы на рекламу) и неконтролируемые (количество рабочих дней в месяце).

С точки зрения практического применения наиболее сложным является нахождение оптимального количества регрессоров — переменных X , описывающих изменения прогнозируемых значений Y . Для этого сначала определяется набор таких регрессоров, а затем оставляются те, влияние которых на прогнозируемые значения существенно.

Рассмотрим применение этого метода на практическом примере, определив в качестве контролируемых регрессоров расходы на рекламу и неконтролируемых — количество рабочих дней в месяце. В свою очередь, понимая, что расходы на рекламу и ее воздействие на потребителя разнесены во времени, добавим в качестве контролируемых регрессоров расходы на рекламу с запаздыванием в один и два месяца.

На следующем этапе необходимо избавиться от лишних регрессоров. С помощью программы SPSS мы можем, поочередно отбрасывая регрессоры, протестировать полученные модели, используя в качестве параметра выбора скорректированный коэффициент детерминации

$$\bar{R}_k^2 = 1 - \frac{(n-1)(1-R_k^2)}{n-k},$$

где $R_k^2 = \frac{(\hat{Y}_i - \bar{Y})^2}{(Y_i - \bar{Y})^2},$

и стандартную ошибку регрессии

$$s = \sqrt{\frac{e_1^2 + e_2^2 + \dots + e_n^2}{n-k}}.$$

Результаты анализа наших моделей приведены в табл. 9.

a Предикторы: (константа) ЗРеклама1, Реклама, ЗРеклама2, Рабдни, Месяц

b Предикторы: (константа) ЗРеклама1, ЗРеклама2, Рабдни, Месяц

c Предикторы: (константа) ЗРеклама1, Рабдни, Месяц

d Предикторы: (константа) Рабдни, Месяц

e Зависимая переменная: Продажи

Таблица 9. Анализ моделей множественной регрессии

Модель	R	R^2	Скорректированный R^2	Стандартная ошибка оценки
1	0,838(a)	0,702	0,454	1625,42105
2	0,838(b)	0,702	0,532	1505,14004
3	0,835(c)	0,698	0,585	1417,67654
4	0,783(d)	0,613	0,526	1513,73175

Очевидно, что оптимальной моделью в нашем случае является модель с регрессорами «Количество рабочих дней в месяце» и «Расходы на рекламу» с запаздыванием в один месяц. Прогноз продаж с использованием такой модели при заданных затратах на рекламу приведен в табл. 10.

Таблица 10. Результаты прогнозирования с помощью модели множественной регрессии

Месяц	Объем продаж, шт.	Количество рабочих дней в месяце	Расходы на рекламу с запаздыванием в месяц	Прогноз продаж, шт.
1	5966	21	0	7928,86
2	8547	19	15394	7184,21
3	7927	21	8571,81	8853,18
4	11119	22	7320,17	9918,75
5	11040	22	12469,79	10380,92
6	9349	20	8445,71	9636,26
7	11543	23	16982,95	11908,65
8	11683	22	4174,02	11767,40
9	12500	19	8641,05	10419,34
10	8845	17	1689,12	9674,69
11	13941	21	0	12550,48
12	10172	20	0	12409,24
13		19	0	12267,99
14		18	0	12126,75
15		20	21000	13795,73
16		22	2000	15464,70

После того как прогноз подготовлен и представлен руководству организации, наступает этап мониторинга и сопоставления полученных прогнозов с реальными данными, что позволяет своевременно выявлять значительные отклонения в ходе развития событий. Если они могут оказать принципиальное влияние на дальнейший ход событий в принятии важных стратегических решений, то прогноз должен быть подвергнут корректировке. В итоге возникает вопрос оценки качества прогноза апостериорно. На практике в качестве такого критерия оценки точности прогноза применяют среднеквадратичное отклонение истинного значения от прогнозируемого. Величину этого параметра каждое предприятие определяет самостоятельно.

В заключение отметим, что список перечисленных моделей (подгонки кривыми, скользящего среднего, экспоненциально взвешенного скользящего среднего, двойного экспоненциального сглаживания, Холта, Брауна, сезонные, линейной и множественной регрессии) не является полным. Приведены самые распространенные и широко применяемые модели. Обычно, чем проще модель, тем шире она применяется в прогнозировании.

Такой подход объясняется следующими причинами.

- Использование более сложных моделей не всегда приводит к повышению точности прогнозов. Имея большой опыт, многие события можно «прочувствовать», но практически невозможно просчитать.
- Чем сложнее модель, тем больше времени требуется на подготовку данных, расчеты, анализ, численные эксперименты. Следовательно, многократно возрастают затраты предприятия. Как результат — чем больше ассортимент, тем проще используемые методы прогнозирования.
- Конкурентная среда, изменяющиеся рынки, проблемы роста компаний и прочие условия при прогнозировании не позволяют рассчитывать на репрезентативные выборки исторических данных. При этом подавляющее большинство моделей прогнозирования так или иначе использует именно эти данные.

Тем не менее, грамотное применение научных методов прогнозирования, умение пользоваться математическим и статистическим аппаратами и прикладным программным обеспечением повышают точность прогнозирования, что в итоге приводит к увеличению конкурентного преимущества предприятия.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Беляевский И.К.* Маркетинговое исследование: информация, анализ, прогноз. — М.: Финансы и статистика, 2001. — 320 с.
2. *Круглов В.В., Борисов В.В.* Принятие решений на основе нечетких моделей: примеры использования. — М.: Горячая линия «Телеком», 2001. — 458 с.
3. *Конрад Карлберг.* Бизнес-анализ с помощью Microsoft Excel. — М.: Вильямс, 2006. — 460 с.
4. *Згуровский М.З., Панкратова Н.Д.* Системный анализ. — Киев: Наук. думка, 2005. — 744 с.
5. *Слуцкий Л.* Курс MBA по прогнозированию в бизнесе. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. — 276 с.
6. *Элвин С. Бернс, Рональд Ф. Буш.* Основы маркетинговых исследований с использованием MS EXCEL. — М.: Вильямс, 2006. — 694 с.
7. *Бідюк П.І., Половцев О.В.* Анализ и моделирование экономических процессов переходного периода. — Киев: НГУУ «КПИ», 1999. — 230 с.
8. *Бідюк П.І.* Системний підхід до прогнозування на основі моделей часових рядів // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2003. — № 3. — С. 88–110.

Поступила 08.12.2008

УДК 62-50

**АЛГОРИТМ ВЕРОЯТНОСТНОГО ВИВОДА
В БАЙЕСОВСКИХ СЕТЯХ**

А.Н. ТЕРЕНТЬЕВ, П.И. БИДЮК, Л.А. КОРШЕВНЮК

Предлагается новый, более простой и точный алгоритм вероятностного вывода в байесовских сетях на основе обучающих данных.

ВСТУПЛЕНИЕ

Применение технологий интеллектуального анализа данных становится все более актуальным благодаря совершенствованию методов анализа и вычислительных процедур, которые их реализуют. Это связано также с тем, что в мире постепенно накапливаются большие объемы информации, требующие надлежащей обработки и принятия решений. Успешное развитие любого предприятия напрямую зависит от его способности адекватно и оперативно реагировать на изменение внешней среды, а также умение прогнозировать результаты тех или иных воздействий. Так, в отчете Ассоциации американских банкиров отмечается, что 45 из 100 крупнейших банков США уже внедрили у себя системы интеллектуального анализа данных, и еще около 50 банков начали реализацию подобных проектов или планируют это сделать в ближайшее время.

Среди разнообразных методов интеллектуального анализа байесовские методы занимают одно из ведущих направлений. Благодаря универсальности по отношению к используемым типам данных и решаемых практических задач их можно использовать в различных областях человеческой жизнедеятельности — технике, экономике, финансах, информационных технологиях, медицине, биологии и других направлениях [1,2]. Классы решаемых задач также самые разнообразные — классификация, прогнозирование, диагностика, оценивание, управление и т.п. Одним из самых перспективных современных байесовских методов является байесовская сеть (БС).

При построении БС необходимо решать задачи обучения, оптимизации структуры сети и формирования вероятностного вывода. Задача вероятностного вывода в БС является важной и сложной задачей, относящейся к классу задач принятия решений. Один из методов формирования вероятностного вывода в БС предложен в работе [3]. Однако для реализации метода

необходимо привести структуру БС к виду объединенного дерева (junction tree). Для этого нужно выполнить следующее.

1. Морализировать граф (структуру БС) — добавить дуги между несвязанными между собой предками каждой вершины сети.
2. Дезориентировать граф — направленные дуги заменить неориентированными ребрами.
3. Триангулировать граф — привести структуру графа к такому виду, чтобы не было циклов длиной больше трех.
4. Морализированный триангулированный граф привести к виду графа клик, т.е. к графу, состоящему из подграфов.
5. Граф клик привести к виду объединенного дерева.

И только после этого можно использовать алгоритм вероятностного вывода в объединенном дереве, который основывается на прохождении λ и π сообщений по дереву и последовательном пересчете таблиц условных вероятностей.

В работе [4] предложен метод поглощающего исключения (bucket elimination). Проблемой, возникающей при использовании этого метода, является обязательное наличие упорядоченного множества вершин, получение которого является сложной вычислительной задачей. Более подробно анализ проблемы и обзор методов формирования вероятностного вывода в БС рассмотрен в работах [5–7].

Очевидно, что существующие методы формирования вывода, предложенные в работах [3, 4], требуют серьезного преобразования структуры БС и трудоемких подготовительных вычислений. Поэтому разработка методов, позволяющих уменьшить вычислительную сложность, является актуальной и востребованной при моделировании процессов различной природы сетями Байеса.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Разработка метода вероятностного вывода в БС, состоящего из двух шагов. На первом шаге выполняется вычисление матрицы эмпирических значений совместного распределения вероятностей всей сети, на втором — вероятностей всех возможных состояний не инстанцированных вершин.

АЛГОРИТМ ВЕРОЯТНОСТНОГО ВЫВОДА В БС НА ОСНОВЕ ОБУЧАЮЩИХ ДАННЫХ

Входные данные, необходимые для алгоритма формирования вывода

1. **Множество обучающих данных** $D = \{d_1, \dots, d_n\}$, $d_i = \{x_i^{(1)}, x_i^{(2)}, \dots, x_i^{(N)}\}$ (нижний индекс — номер наблюдения, верхний — переменной), n — количество наблюдений, состоящих из N ($N \geq 2$) переменных $X^{(1)}, X^{(2)}, \dots, X^{(N)}$. Каждая j -я переменная ($j = 1, \dots, N$) имеет $A^{(j)} = \{0, 1, \dots, \alpha^{(j)} - 1\}$ ($\alpha^{(j)} \geq 2$) состояний.

2. **Структура байесовской сети** g , представленная множеством из N предков $(\Pi^{(1)}, \dots, \Pi^{(N)})$. Для каждой вершины $j = 1, \dots, N$, $\Pi^{(j)}$ — это множество родительских вершин такое, что $\Pi^{(j)} \subseteq \{X^{(1)}, \dots, X^{(N)}\} \setminus \{X^{(j)}\}$ (вершина не может быть предком для самой себя — петли в графе должны отсутствовать).

3. **Множество инстанцированных вершин** $\{X^{(R_1)} = x^{(R_1)}, \dots, X^{(R_v)} = x^{(R_v)}\}$, т.е. вершин, находящихся в некотором определенном состоянии с единичной вероятностью. Если множество инстанцированных вершин пустое, то нужно использовать классический вероятностный вывод.

Алгоритм формирования вывода

Шаг 1.

По множеству обучающих данных вычисляется матрица эмпирических значений совместного распределения вероятностей всей сети $P(X^{(1)}, \dots, X^{(N)})$. По формуле

$$P_{\text{matrix}}(X^{(1)} = x^{(1)}, \dots, X^{(N)} = x^{(N)}) = \frac{n[X^{(1)} = x^{(1)}, \dots, X^{(N)} = x^{(N)}]}{n},$$

где n — количество обучающих наблюдений; $x^{(j)} \in A^{(j)}$, а числитель вычисляется так:

$$n[X^{(1)} = x^{(1)}, \dots, X^{(N)} = x^{(N)}] = \sum_{j=1}^n I(X^{(1)} = x_j^{(1)}, \dots, X^{(N)} = x_j^{(N)}),$$

где функция $I(E) = 1$, когда предикат $E = \text{true}$, в противном случае $I(E) = 0$.

Шаг 2.

Перебираем последовательно все вершины БС. Если вершина не является инстанцированной, то нужно вычислить значения вероятностей возможных состояний этой вершины. Для этого делается последовательный перебор всех строк матрицы эмпирических значений совместного распределения вероятностей сети. Если значения вершин строки совпадают со значениями инстанцированных вершин и состоянием анализируемой вершины, то $P_{\text{matrix}}(X^{(1)}, \dots, X^{(N)})$ прибавляется к значению вероятности соответствующего состояния вершины. После этого выполняется нормирование значений вероятностей ее состояний.

Алгоритм вычисления значений вероятностей всех возможных состояний неинстанцированных вершин

```
for  $j=1$  to  $N$  if  $X^j \notin \{X^{(R_1)}, \dots, X^{(R_v)}\}$  then
  begin
    sum = 0;
```

```

 $\forall x^{(j)} \in A^{(j)}$  do
  begin
    for  $k=1$  to last_string_matrix do
      begin
        if  $(X_{\text{matrix}}^{(R)} = x^{(R)})$  and...and  $(X_{\text{matrix}}^{(P_v)} = x^{(P_v)})$  and  $(X_{\text{matrix}}^{(j)} = x^{(j)})$  then
          begin
             $P(X^{(j)} = x^{(j)}) = P(X^{(j)} = x^{(j)}) + P_{\text{matrix}}(X_{\text{matrix}}^{(1)}, \dots, X_{\text{matrix}}^{(N)});$ 
          end;
        end;
      sum = sum +  $P(X^{(j)} = x^{(j)})$ ;
    end;
   $\forall x^{(j)} \in A^{(j)}$  do
    begin
      
$$P(X^{(j)} = x^{(j)}) = \frac{P(X^{(j)} = x^{(j)})}{\text{sum}}$$

    end;
  end;
end;

```

Выходные данные

Выходными данными являются значения вероятностей всех возможных состояний всех неинстанцированных вершин.

ВЫВОДЫ

Моделирование процессов различной природы и сложности при помощи БС является одним из перспективных современных направлений в области интеллектуального анализа данных. В работе предложен метод формирования вероятностного вывода на основе БС с использованием обучающих данных. Этот метод более простой с вычислительной точки зрения по сравнению с такими методами, как вероятностный вывод в объединенном дереве [3] и поглощающим исключением [4]. Благодаря использованию информации об инстанцированных узлах достигается более высокая точность результата по сравнению с классическим вероятностным выводом, который основывается на таблицах условных вероятностей. В дальнейшем необходима разработка более совершенных методов вероятностного вывода для БС с непрерывными вершинами, т.е. переменными, подчиняющимися стандартным законам распределения, а также более интересного случая БС с неполными обучающими данными. Описанная научно-исследовательская работа выполнена в рамках гранта НТУУ «КПИ» 3/5-ГР.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Tuzel O., Porikli F., Meer P.* A Bayesian approach to background modeling // TR2005-033. — Mitsubishi electric research laboratories, December 2005. — 8 p.
2. *Yedidia J., Freeman W. and Weiss Y.* Understanding belief propagation and its generalizations // TR-2001-22. — Mitsubishi electric research laboratories, January 2002. — 35 p.
3. *Lokeswarappa K.G.* Junction trees: motivation // Seminar CSE 714 on advanced topics in machine learning, March 2005. — 57 p.
4. *Dechter R.* Bucket elimination: a unifying framework for reasoning // ACM Press. — 1996. — **28**, № 61. — P. 1–51.
5. *Huang C., Darwiche A.* Inference in belief networks: g procedural guide // International journal of approximate reasoning. — 1994. — **11**. — P. 1–45.
6. *Lepar V., Shenoy P.* A Comparison of Lauritzen-Spiegelhalter, Hugin, and Shenoy-Shafer Architectures for computing marginals of Probability Distributions // Uncertainty in artificial intelligence, San Francisco, CA. — **14**. — 1999. — P. 328–337.
7. *Murphy K.P.* Dynamic Bayesian networks: representation, inference and learning: A PhD dissertation. — University of California, Berkeley, 2002. — 225 p.

Поступила 30.05.2007

АЛГОРИТМ НАХОЖДЕНИЯ НАИБОЛЬШЕГО ОБЩЕГО ПОДГРАФА

М.Б. ИЛЬЯШЕНКО

Предлагается новый переборный алгоритм решения задачи нахождения наибольшего общего подграфа. Приведены результаты численного анализа производительности алгоритма на графах различных классов и размеров, входящих в состав базы графов для оценки производительности алгоритмов решения задач установления морфизма на графах. Дана оценка потенциала применения разработанного алгоритма для решения реальных прикладных задач на графах размером порядка сотен вершин

Графы широко применяются в различных областях науки и техники: в системах распознавания образов, химии, компьютерных системах и сетях, логистике и т.д. Если графы применяются для представления структурных объектов, то степень сходства объектов становится равнозначна определению сходства графов, их представляющих. Изоморфизм графов используется для определения идентичности структур двух графов [1]. Более общая операция граф–подграф изоморфизма используется для определения, является ли один граф структурной частью другого [1,2]. В работах [3,4] рассмотрены вопросы применения понятия наибольшего общего подграфа для определения степени схожести графов.

Нахождение наибольшего общего подграфа (НОП) двух заданных графов — задача известная. В работах [5, 6] алгоритм нахождения НОП применялся для сравнения молекул. В работе [7] предложен алгоритм нахождения НОП, использующий метод поиска с возвратом. Другим, кардинально отличным подходом к нахождению НОП, является поиск максимальной клики в модульном произведении графов [8, 9].

Проблемы нахождения НОП и максимальной клики являются NP-полными задачами [10]. Поэтому было предложено множество эвристических алгоритмов решения. Обзор таких алгоритмов, в том числе анализ их вычислительной сложности и потенциальных возможностей применения, сделан в работе [11]. Например, в [12] приводятся результаты численного исследования двух алгоритмов нахождения НОП на основе базы случайных графов. В частности, произведено сравнение производительности переборного алгоритма и алгоритма на основе нахождения максимальной клики в модульном произведении графов, показавшее, что при низкой плотности реберного заполнения графов более эффективным является подход, основанный на переборном алгоритме.

В данной статье приводится описание алгоритма нахождения НОП, построенного на основе метода ветвей и границ. Приводится детальное описание алгоритма, а также результаты исследования его производительности на графах эталонной базы для сравнения алгоритмов установления изоморфности.

АЛГОРИТМ

Максимальный общий подграф. Пусть даны графы $G_1 = (V_1, E_1)$ и $G_2 = (V_2, E_2)$. Графы $G'_1 \subseteq G_1$ и $G'_2 \subseteq G_2$. При этом подграф G'_1 изоморфен подграфу G'_2 . G'_1 и G'_2 содержат максимальное число вершин среди всех возможных подграфов.

Алгоритм поиска НОП удобно описывать в терминах поиска в пространстве состояний. Каждое состояние s процесса совмещения вершин соответствует частичной подстановке $\varphi(s)$, которая содержит лишь часть вершин полной подстановки. Каждому состоянию соответствуют подграфы $G_1(s)$ и $G_2(s)$, полученные из вершин графов G_1 и G_2 , вошедших в частичную подстановку $\varphi(s)$, и ребер, соединяющих эти вершины. В дальнейшем обозначим $\varphi_1(s)$ и $\varphi_2(s)$ проекции подстановки $\varphi(s)$ на V_1 и V_2 .

Алгоритм состоит из предварительной и основной частей.

В предварительной части алгоритма вершины графа G_2 сортируются в порядке убывания степени связности вершин. Первой ставится вершина с наибольшим числом инцидентных ребер. Среди оставшихся вершин каждый раз выбирается та, которая имеет максимальное число ребер, соединяющих ее с уже совмещенными вершинами. Таким образом, вначале идут вершины, имеющие большее число внутренних связей. Этот порядок следования вершин делает более жесткими граничные условия, используемые в переборной части алгоритма и, в конечном счете, сужает область поиска.

Центральной является переборная часть алгоритма, основанная на рекурсивной функции последовательного наложения вершин с возвратом. Вершины графа G_2 остаются нетронутыми, и им в соответствие ставятся вершины графа G_1 .

В алгоритме используются следующие векторы индексов вершин графов, инцидентных совмещенным вершинам:

In_1 — входящие графа G_1 ; Out_1 — исходящие G_1 ; In_2 — входящие G_2 ; Out_2 — исходящие G_2 .

Пусть на данном шаге в подстановку предполагается включить вершины V_1^i и V_2^j . Коэффициент, используемый при изменении индексов входящих и исходящих вершин, определяется как $k = 2^{\text{mod}(1,31)}$. Тогда

для $\forall (V_1^j, V_1^i) \in E_1, \forall (V_1^i, V_1^j) \in E_1, \forall (V_2^j, V_2^i) \in E_2, \forall (V_2^i, V_2^j) \in E_2$ изменением значения соответственно $In_1^j = In_1^i + k$, $Out_1^j = Out_1^i + k$, $In_2^j = In_2^i + k$, $Out_2^j = Out_2^i + k$.

Такое изменение индексов позволяет хранить в векторах In_1, In_2, Out_1 и Out_2 не только количество связей каждой вершины с вершинами, уже вошедшими в подстановку, но и косвенно, через индекс k — номер итерации, на которой данная вершина была добавлена. Использование k в пределах от 20 до 231 обусловлено применяемым в языке программирования C++

32-разрядным типом данных. С введением 64-разрядных типов данных, поддерживаемых на аппаратном уровне, разброс значений коэффициента k можно будет увеличить.

На каждом шаге переборной части алгоритма среди вершин графа G_1 , еще не вошедших в частичную подстановку $\varphi(s)$, выбирается вершина V_1^i , потенциально совместимая с очередной вершиной V_2^j графа G_2 . Перед совмещением проверяются условия допустимости добавления пары вершин (V_1^i, V_2^j) в частичную подстановку.

- $In_1^i = In_2^j$.
- $Out_1^i = Out_2^j$.
- Множества ребер $E'_1 = (V_1^i, \varphi_1(s))$ и $E'_2 = (V_2^j, \varphi_2(s))$ должны совпадать, т.е. $E'_1 = E'_2$.

Последнее условие является прямым следствием постановки задачи поиска НОП. Если очередная полученная подстановка $\varphi(s)$ больше, чем текущая максимальная частичная подстановка $\varphi'(s)$, то $\varphi'(s) = \varphi(s)$.

Если на очередном шаге не удастся найти совместимых вершин, то выполняется операция отката (backtracking), восстанавливаются значения векторов In_1 , In_2 , Out_1 и Out_2 предыдущего шага, и поиск продолжается, начиная со следующей пары еще не совмещенных вершин.

БАЗА ГРАФОВ ДЛЯ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЛГОРИТМОВ НАХОЖДЕНИЯ НОП

Для сравнения производительности алгоритмов проверки на изоморфность, установления граф–подграф изоморфизма и нахождения НОП предложена эталонная база графов [13] (см. таблицу).

Наборы для различных размеров подграфов (10, 30, 50, 70 и 90% от большего) одинаковы. Всего протестировано 50000 пар графов.

Типы графов, вошедшие в состав эталонной базы, учитывают особенности реальных задач, которые решаются с применением алгоритма нахождения НОП. Так для задач распознавания образов, распределения нагрузки в компьютерных сетях, синтеза печатных плат и анализа топологии более характерны графы с небольшой степенью вершин, низкой плотностью реберного заполнения. Такие графы представлены в виде наборов графов с ограниченной степенью вершин и нерегулярных сетей. Регулярные (сильно-регулярные) графы, как правило, являются наихудшим случаем для переборных алгоритмов решения задач морфизма на графах и характеризуют уровень производительности алгоритма в «наихудшем случае». Такие графы представлены наборами регулярных графов с ограниченной степенью вершин и регулярных сетей. Кроме того, представлены случайные графы для оценки производительности алгоритма на графах, не обладающих специальными свойствами.

Состав набора графов эталонной базы

Тип графов	Количество пар	Параметры	Размеры (вершин)
Случайно сгенерированные графы	1100	$n = 0,005$	20–100
	1100	$n = 0,01$	20–100
	1100	$n = 0,02$	20–100
Регулярные сети	700	2D сеть	40–100
	500	3D сеть	60–100
Нерегулярные сети	800	Нерегулярные 2D сети $\rho = \{0,2; 0,4; 0,6\}$	40–100
	1500	Нерегулярные 3D сети $\rho = \{0,2; 0,4; 0,6\}$	60–100
Регулярные графы с ограниченной степенью вершин	700	Степень=3	40–100
	400	Степень=6	70–100
Нерегулярные графы с ограниченной степенью вершин	700	Степень=3, $\alpha=0,1$	40–100
	400	Степень=6, $\alpha=0,1$	70–100
Итого	10000		

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ АЛГОРИТМА НА ГРАФАХ ЭТАЛОННОЙ БАЗЫ

Исследования производительности алгоритма осуществлялись на компьютере AMD Athlon 1700+, 512MB RAM. Компилятор Visual C++ 6.0.

Различные наборы графов обозначим следующим образом:

MCS_0 — набор графов с размером подграфа 10%, MCS_1 — 30%, MCS_2 — 50%, MCS_3 — 70%, MCS_4 — 90%.

Характерные результаты исследования приведены на рис. 1–10. Для удобства сравнения производительности различных алгоритмов приведены как среднее время сравнения одной пары графов, так и среднее число перебранных узлов дерева решений рекурсивного алгоритма. При сравнении переборных алгоритмов число перебранных узлов дерева решений выступает более адекватным критерием сравнения, так как время вычислений может сильно зависеть от особенностей программной реализации и производительности компьютера, на котором выполнялись исследования.

Результаты исследования показали, что для всех графов эталонной базы алгоритм находит решение за время, не превышающее 0,2 с, перебрав не более 6000 узлов дерева решений. Такая производительность дает возможность использовать разработанный алгоритм нахождения НОП в реальных прикладных задачах. Характерной особенностью алгоритма является повышение производительности с ростом размера меньшего графа. Это связано с появлением дополнительной информации в переборной части алгоритма за счет увеличения числа ребер в графах, что обуславливает больший разброс значений векторов In_1, In_2, Out_1, Out_2 и как следствие — сужение области поиска за счет усиления граничного условия переборной части алгоритма.

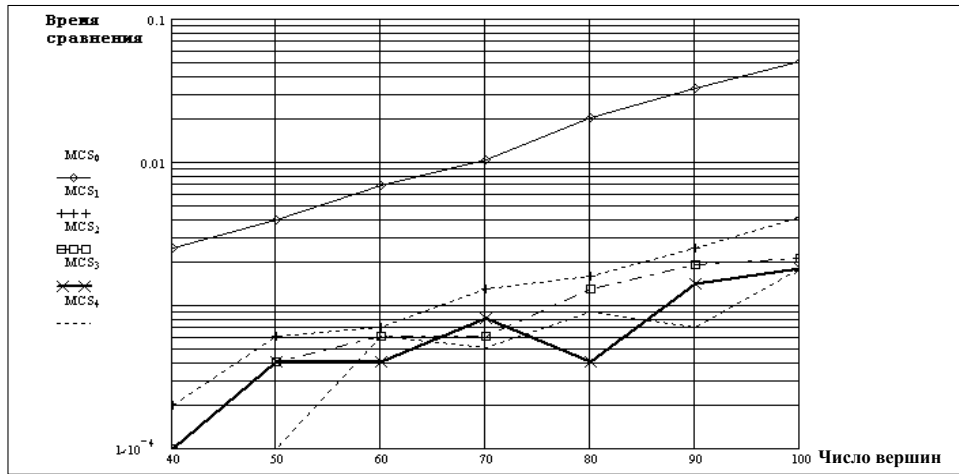


Рис. 1. Время проверки регулярных графов с ограниченной степенью вершин ($N=40\dots100$, степень=3)

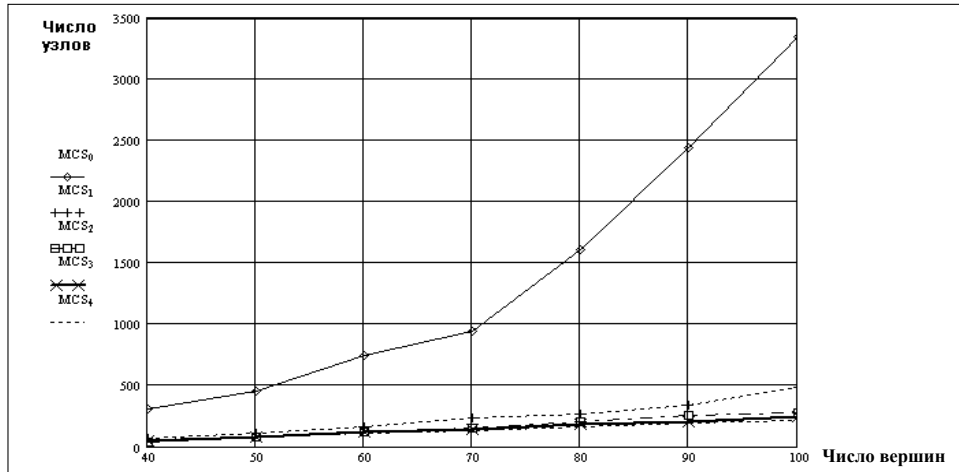


Рис. 2. Число перебранных узлов при проверке регулярных графов с ограниченной степенью вершин ($N=40\dots100$, степень=3)

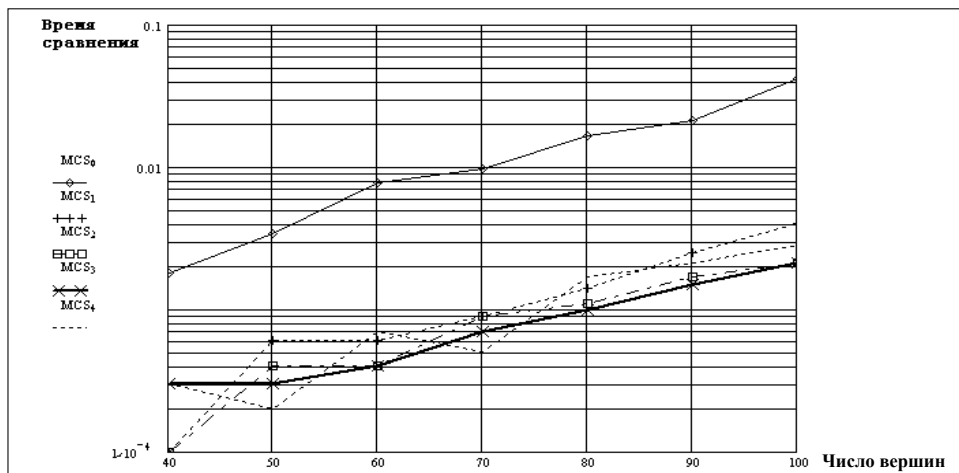


Рис. 3. Время проверки нерегулярных графов с ограниченной степенью вершин ($N=40\dots100$, степень=3, $a=0,1$)

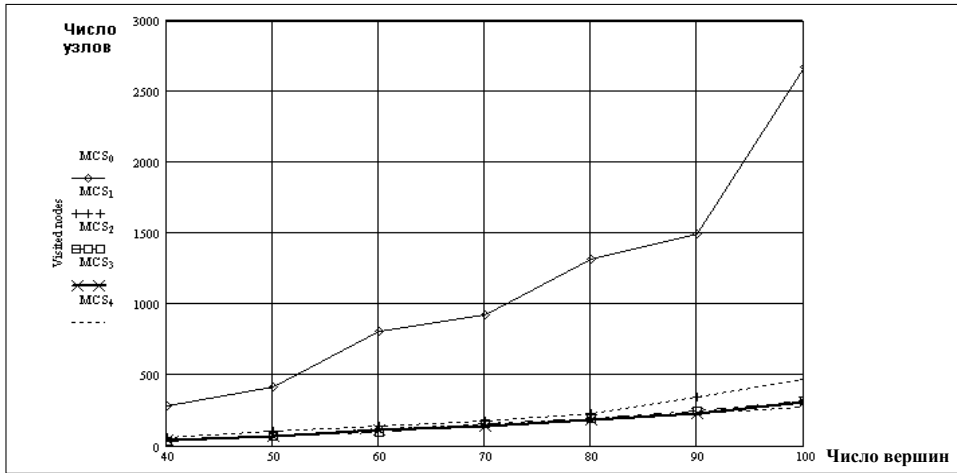


Рис. 4. Число перебранных узлов при проверке нерегулярных графов с ограниченной степенью вершин ($N=40\dots 100$, степень=3, $a=0,1$)

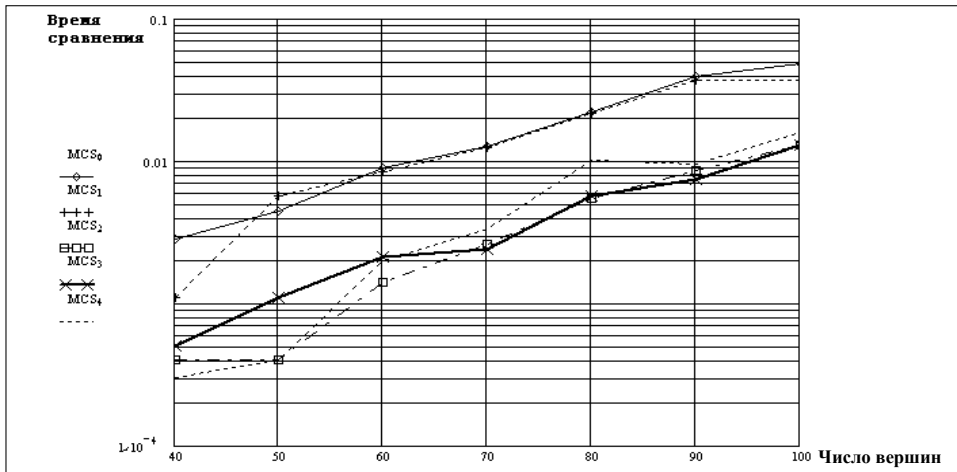


Рис. 5. Время проверки регулярных 2D сетей ($N=40\dots 100$, $p=0,0$)

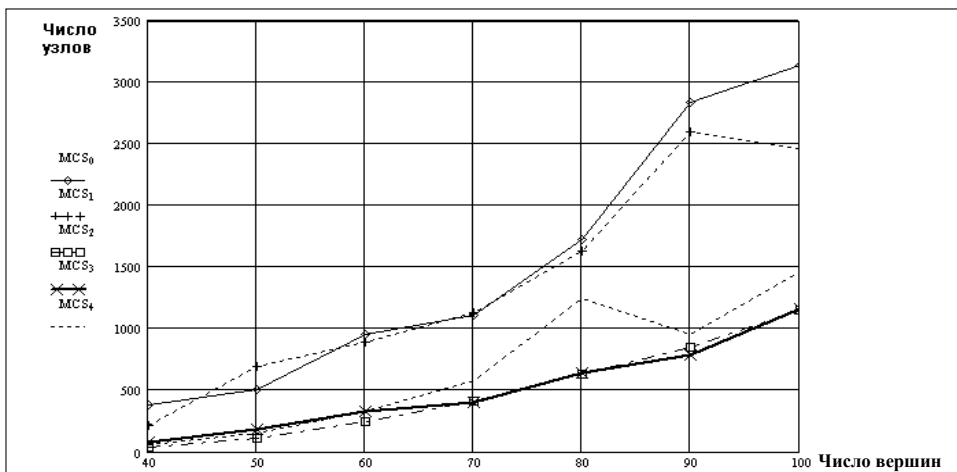


Рис. 6. Число перебранных узлов при проверке регулярных 2D сетей ($N=40\dots 100$, $p=0,0$)

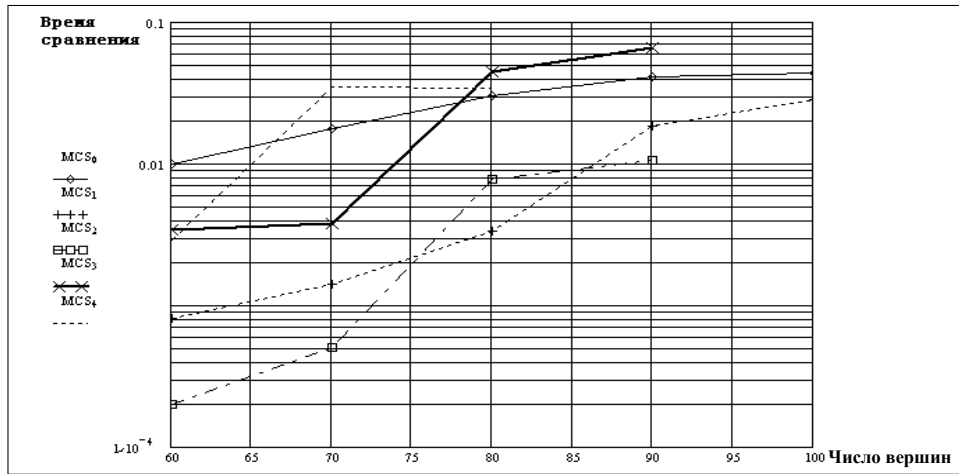


Рис. 7. Время проверки регулярных 3D сетей ($N=60\dots100, p=0,0$)

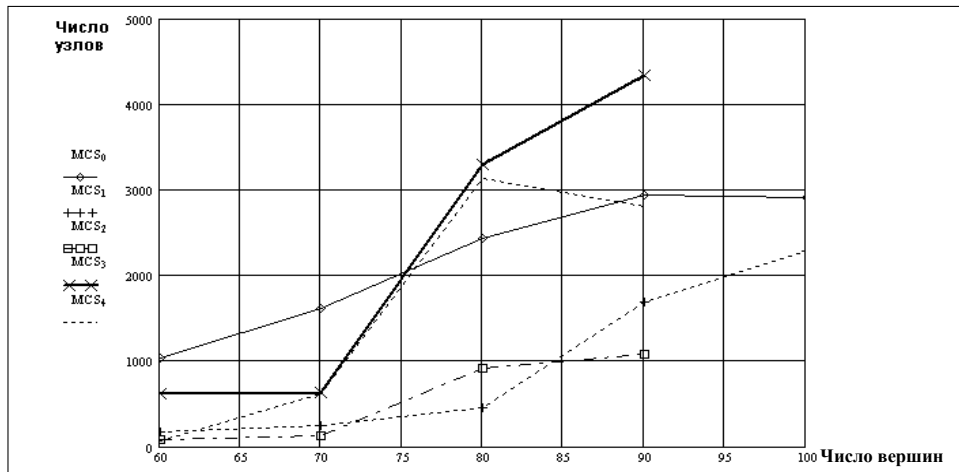


Рис. 8. Число перебранных узлов при проверке регулярных 3D сетей ($N=60\dots100, p=0,0$)

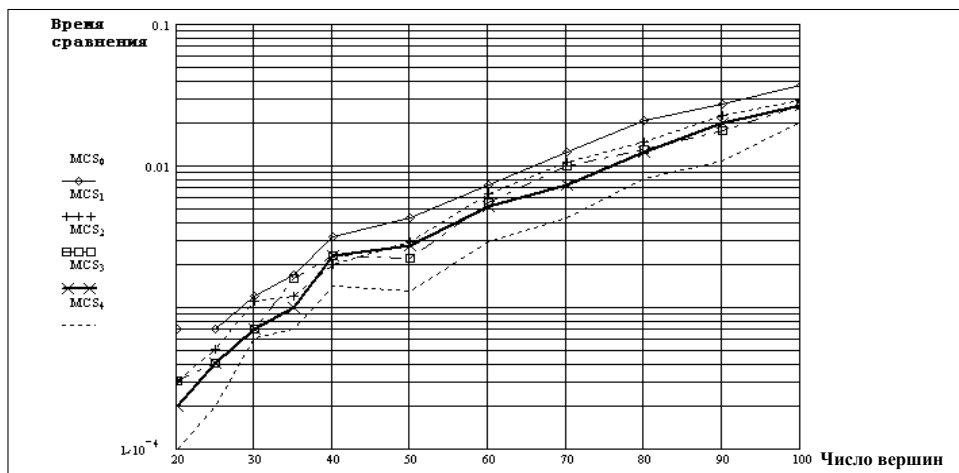


Рис. 9. Время проверки случайно сгенерированных графов ($N=20\dots100, n=0,01$)

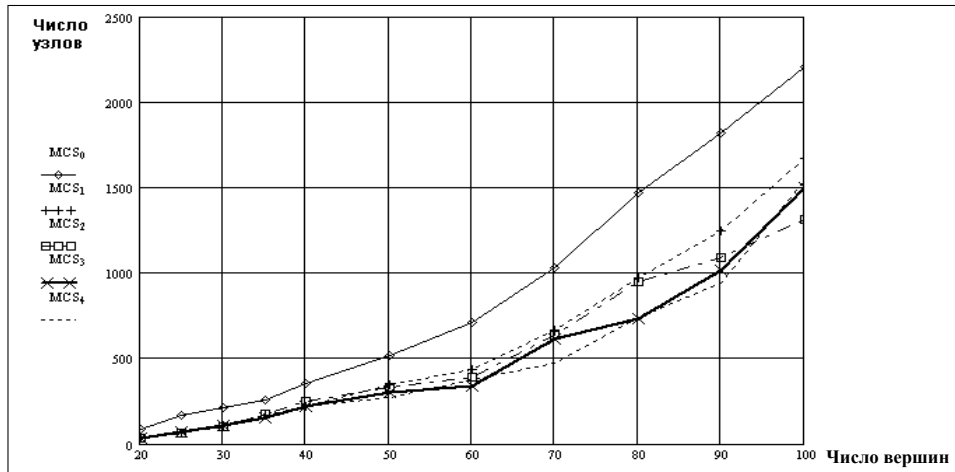


Рис. 10. Число перебранных узлов при проверке случайно сгенерированных графов ($N=20\dots 100$, $n=0,01$)

ВЫВОДЫ

Представлен новый алгоритм нахождения наибольшего общего подграфа. Приведены результаты численного анализа производительности алгоритма на эталонной базе графов для оценки производительности алгоритмов морфизма на графах. Результаты исследования показали, что разработанный алгоритм в состоянии сравнивать графы размерностью до 100 вершин за время, не превышающее 0,2 с, при переборе не более 6000 узлов дерева решений. Графы большего размера в эталонной базе на данный момент отсутствуют.

Производительность разработанного алгоритма позволяет применять его для решения реальных прикладных задач на графах размерностью порядка сотен вершин.

Дальнейшие усилия будут направлены на численное определение вычислительной сложности алгоритма путем исследования его производительности на графах большего размера, чем представленные в эталонной базе, а также на более детальное сравнение с аналогами и расширение функциональности для решения задач на взвешенных графах и связанными с ними проблемами оптимизации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ullmann J.R. An Algorithm for Subgraph Isomorphism // Journal of the Association for Computing Machinery. — 1976. — № 23. — P. 31–42.
2. An improved algorithm for matching large graphs / L.P. Cordella et al. // Proceedings of the 3rd IAPR-TC-15 International Workshop on Graph-based Representations. — Italy, 2001. — P. 149–159.
3. On the Minimum Supergraph of Two Graphs / H. Bunke, X. Jiang, A. Kandel // Computing. — 2000. — 65. — P. 13–25.
4. Bunke H., Sharer K. A Graph Distance Metric Based on the Maximal Common Subgraph // Pattern Recognition Letters. — 1998. — 19. — № 3, 4. — P. 255–259.

5. *Levi G.* A Note on the Derivation of Maximal Common Subgraphs of Two Directed or Undirected Graphs // *Calcolo.* — 1972. — **9**. — P. 341–354.
6. *Molecular Structure Comparison Program for the Identification of Maximal Common Substructures / M. M. Cone, Rengachari Venkataraghven, F. W. McLafferty* // *Journal of Am. Chem. Soc.* — 1977. — **99**, №23. — P. 7668–7671.
7. *McGregor J.J.* Backtrack Search Algorithms and the Maximal Common Subgraph Problem // *Software Practice and Experience.* — 1982. — **12**. — P. 23–34.
8. *Bron C., Kerbosch J.* Finding All the Cliques in an Undirected Graph // *Communication of the Association for Computing Machinery.* — 1973. — **16**. — P. 575–577.
9. *Immanuel M. Bomze.* Evolution towards the Maximum Clique // *Journal of Global Optimization.* — 1997. — **10**, № 2. — P. 143–164.
10. *Garey M.R., Johnson D.S.* Computers and intractability: a guide to the theory of NP-completeness. — S.F.: W.H. Freeman and Comp., 1979. — 251 p.
11. *The Maximum Clique Problem / I.M. Bomze et al.* // *Handbook of Combinatorial Optimization.* — Kluwer Academy Pub. — 1999. — **4**. — P. 656.
12. *A Comparison of Algorithms for Maximum Common Subgraph on Randomly Connected Graphs / H. Bunke et al.* // *Structural, Syntactic, and Statistical Pattern Recognition.* — Springer Berlin: Heidelberg. — 2002. — P. 123–132.
13. *A large database of graphs and its use for benchmarking graph isomorphism algorithms / De Santo M. et al.* // *Pattern Recogn.* — 2003 — **24**, № 8. — P. 1067–1079.

Поступила 17.04.2007



УДК 504.052

**RESEARCH OF GLOBALIZATION'S INTERRUPTED
CHARACTER IN CONTEXT OF SOCIAL DEVELOPMENT AND
GLOBAL SECURITY**

**PART 1. ANALYSIS OF PRE-CRISIS PERIOD (UP TO SECOND
HALF OF 2008)**

A. ZGUROVSKY

In given research we introduce the new valuating method of globalization in scope of basic social development and global security indicators, further named as SDS. By implementing the well-known KOF and newly introduced SDS methods the comparative analysis of globalization level among different states is carried out. With the help of Principal Compound Analysis there is a reduction in the number of variables that determine characteristics of globalization to particular factors and their simplified representation of dependence on globalization level.

INTRODUCTION

Since ancient times the mutual pervasion of cultures and economics of different nations was creating new opportunities for further development. "The Great Silk Way" just like the cultural pathway between East and West emerged in the 3rd century B.C. and existed till the 16th century. It appeared to be one of the greatest achievements of world civilization. The separated caravan routes that crossed Europe and Asia through Mediterranean Sea to China served as an important cultural communication tool for many nations. Without a slightest exaggeration it was the first significant globalization wave. Nevertheless, it was later interrupted by durable and cruel wars of 17-18 centuries.

The second wave of globalization started in 1880s and was periodically interrupted by the First, Second and Cold wars. It is observed as a coherent interrelation of art prosperity of "Silver Age" and all other economic and social events of that time (trade, science, philosophy, religion and politics). Rapid development of railways and sea transport culturally and economically united the exchange of countries among five continents.

The set of the 20th century and the rise of the 21st could be named as the third wave of globalization. This wave has been abruptly accumulating since the 80s till the end of year 2008 and has brought new opportunities, unseen before.

Still, at the same time, a set of new global challenges has emerged, that may slow down or even temporarily interrupt the third wave of globalization. Such challenges are: devaluation of fundamental human values; increase of inequality among people and states, a great number of regional conflicts, corruption, terrorism, global illnesses; rapid decrease in fossil fuels resources; natural biological imbalance; greenhouse effect, etc.

The range of these problems, first of all, cynically for humanity, stimulated the 2008 global financial collapse that will lead to economic stagnation and decline of social standards of most countries. It seems that such negative tendencies will be a long-drawn-out. They'll cause fundamental economic transformations, global redistribution of property and further reformation of relations throughout the world including emergence of new centers of power. Most importantly, these changes will become a catalyst of reinterpretation of human values that should become dominant at least in the first half of the 21st century.

Thereby, globalization is a variable interrupting phenomenon. Hence, the regularity of change and accumulation of global phenomena should be studied, analyzed for interrelations and forecasted in the frame of human life safety in long and short term.

In this research, we attempt to analyze the dependence between general phenomena like globalization, disposition of its change and most important dimensions of social development and global security, such as state and political stability, global and regional security, democracy level, and crime control, inequality among people and states, corruption perception, state's peace level and potential for terrorist acts. The analysis of globalization's phenomenon in the perspective of abovementioned indicators is called Methods of Social Development and Global Security (SDS).

QUANTITATIVE ASSESSMENT OF EFFECT OF SOCIAL DEVELOPMENT AND GLOBAL SECURITY GENERAL INDICATORS ON GLOBALIZATION

Further, we will use known global indices used by reputable international organizations to study quantitative dependence between globalization and general indicators of social development and global security:

For quantitative measuring of globalization we'll use KOF index [1, 2] that generalizes and averages economic, social and political data used to calculate the general KOF globalization index. In their turn, economical, social and political indicators are determined by official statistics data for each country that are annually standardized and put to a common calculating base, coming out as KOF Index of globalization for 122 countries.

The general indicators of social development and global security determined by SDS are as follows:

1. *Index of State Fragility (I_{sf})* describes the level of state fragility from domestic and foreign threats and is calculated with the help of 12 indicators, that reflect the security level, political, economic and social stability, state's law legitimacy, conflicts the state participates in etc. This index was calculated in Global Report on Conflicts, Governance and State Fragility [3].

2. *Democracy index* (I_d) empirically calculates the average of 5 general categories: elections and pluralism, civil freedom level, government functioning, political participation and standards. This index is annually calculated by the Economist Intelligence Unit for 167 states.

3. *Global Peace Index* (I_{gp}) was firstly computed by Economist Intelligence Unit in 2008 for 140 states. The index is calculated using 24 quantitative and qualitative indicators of domestic and foreign factors – from military expenditures to relations with neighboring states. Corruption Perception Index and potential for terrorist acts are the components of Global Peace Index [5].

4. *Gini Index* (I_g) is calculated for 177 countries and issued by UN Human Development Report. The main objective of this index is to demonstrate the inequality between poorest and richest layers of population [6].

5. GDP per capita (PPP)[7].

6. *Sustainable Development Index* (I_{sd}) is estimated within three dimensions – economic (I_{ec}), environmental (I_e) and social (I_s). This index is a vector, the norm of which determines sustainable development, while its dimensional location on coordinate grid characterizes the extent of its “harmony” (sustainable development harmony — G). I_{sd} is annually computed by Ukrainian branch of World Data Center (<http://www.wdc.org.ua/>) for 113 states [8].

7. *Global Security Index* (I_{gs}) is also computed by Ukrainian branch of World Data Center (<http://www.wdc.org.ua/>) for 113 states [8]. It determines the state's remoteness from an aggregate of global threats. These are the ten threats that compose Global Security Index: global reduction of energy security; biological imbalance between Earth's natural capacities and human needs, change in demographical structure; increase of inequality between people and states; global disease diffusion; child mortality; increase of corruption levels; lack of access to drinking water; global warming; state instability (calculated by State Fragility Index); global climate change and natural disasters.

8. *Corruption Perception Index* (I_{cp}) is annually calculated by Transparency International [9] for 180 countries. It is scaled from 0 to 10, where 0 is maximum and 10 is minimal corruption level respectively.

9. *Potential for Terrorist Acts Index* (I_{ta}) is also provided in Human Development Report and its objective is to demonstrate the risk of potential terrorist acts in a specific country [6].

10. *Crime Control Index* (I_{cc}) is for the first time introduced by the author and calculated according to the following formula: $I_{cc} = 12 - \{N_p - \text{jailed population per } 100,000 - (\text{number of homicides per } 100,000 + \text{number of casualties caused by organized conflicts per } 100,000)\}$. Hence, we compute a correlation of all committed crimes against jailed population.

It is evident that KOF globalization index and its economic, social and political dimensions depend on the provided ten indicators of social development and global security (SDS) and their social, economic, and political stabilization aspects. The goal of further research is to conduct qualitative and quantitative

analyses of dependence on each of the ten indicators of SDS methods. Furthermore, we divide our research into two stages of world social development:

1. For pre-crisis period (up to the second half of 2008).
2. For crisis period (after August-September 2008).

We will carry out the research by establishing qualitative interrelations among various indicators and KOF globalization index, bringing them to the same calculation platform and substantiating an integral model of social development and global security.

At that, we will take into account that all provided indicators and indices have been issued by different international organizations independently from one another. Consequently, they are measured using different physical quantities, have different interpretations and vary on different scales. Therefore, they should to be normalized to vary on the scale from 0 to 1. In this case the lowest value of the abovementioned indicators will be close to 0, and the highest close to 1. This normalization will allow analyzing interrelations among different indices and indicators of an integral model of social development and global security on a single calculation platform.

In carrying out the abovementioned normalization applied to each of the indicators, we use the following formula

$$I^0 = 1 - \frac{I - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \Rightarrow [0,1], \quad (1)$$

where I^0 is a normalized value of the indicator; I_{\max} , I_{\min} are maximal and minimal values of indicator deviations respectively.

Normalized data grouped by social, economic and political stability dimensions are provided in table 1.

Table 1. The main dimensions of social development and global security

Country	KOF Rank	KOF Scores				State Fragility Index (Isf)	Democracy Index (Id)	Global Peace Index (Igp)	Crime Control Index (Ice)	Potential for Terrorist Acts (Ita)	Corruption Perception Index (Icp)	Gini Index (Ig)	GDP Per Capita	Global Security Index (Igs)	Sustainable Development (Isd)
		General	Economic	Social	Political										
Belgium	1	92,09	91,94	90,82	94,22	0	8,15	1,485	8,4	2	7,5	33	32,119	0,61	0,747
Austria	2	91,38	88,48	92,49	93,86	0	8,69	1,449	9,37	2	8,1	29,1	33,7	0,649	0,783
Sweden	3	90,02	89,51	87,43	94,69	0	9,88	1,468	8,35	1	9,3	25	32,525	0,724	0,798
Switzerland	4	88,6	83,13	95,38	86,15	1	9,02	1,468	8,35	1	9	33,7	35,633	0,671	0,844
Denmark	5	88,42	87,97	88,64	88,72	0	9,52	1,333	9,32	2	9,4	24,7	33,973	0,671	0,781
Netherlands	6	88,4	88,04	89,41	87,38	0	9,66	1,607	8,6	2	9	30,9	32,684	0,658	0,764
United Kingdom	7	86,67	79,24	87,87	95,52	2	8,08	1,801	9,7	3	8,4	36	33,238	0,606	0,781
Czech Republic	8	85,51	87,69	84,91	83,27	1	8,17	1,501	8,92	2	5,2	25,4	20,538	0,561	0,712

Table 1 (Continued)

France	9	85,38	77,42	84,17	98,64	1	8,07	1,707	9,36	2	7,3	32,7	30,386	0,632	0,788
Finland	10	84,65	88,85	83,65	80,13	0	9,52	1,432	8,31	2	9,4	26,9	32,153	0,696	0,798
Germany	11	83,01	74,22	83,3	95,17	0	8,82	1,475	8,62	2	7,8	28,3	29,461	0,628	0,787
Spain	12	82,37	82,19	77,48	91,49	1	8,34	1,683	8,69	2,5	6,7	34,7	27,169	0,605	0,756
Hungary	13	82,52	88,83	76,96	81,89	0	7,53	1,576	8,26	1	5,3	26,9	17,886	0,59	0,729
Portugal	14	81,57	83,76	76,28	86,45	0	8,16	1,412	9,56	2	6,5	38,5	20,41	0,61	0,741
Canada	15	81,21	80,83	86,85	73,21	0	9,07	1,451	9,49	2	8,7	32,6	33,375	0,736	0,795
Ireland	16	79,82	85,47	77,72	74,91	0	9,01	1,41	8,29	1	7,5	34,3	38,505	0,643	0,765
Norway	17	79,44	75,84	84,48	78,18	2	9,55	1,343	9,26	1	8,7	25,8	41,42	0,72	0,797
Italy	18	79,44	76,13	71,9	95,62	0	7,73	1,653	7,47	2	5,2	36	28,529	0,596	0,744
Poland	19	78,42	73,5	74,7	91,12	0	7,3	1,687	9,17	1	4,2	34,5	13,847	0,561	0,699
Singapore	20	78,37	95,9	92,26	32,12	2	5,89	1,673	10,84	2	9,3	42,5	29,663	–	
Australia	21	77,35	67,74	81,51	84,82	2	9,09	1,652	8,59	2,5	8,6	35,2	31,794	0,705	0,781
United States	22	76,76	63,15	76,52	96,67	2	8,22	2,227	12	3,5	7,2	40,8	41,89	0,546	0,796
Slovakia	23	75,82	79,32	79,59	65,07	1	7,4	1,576	7,77	1	4,9	25,8	15,871	0,572	0,733
Malaysia	24	75,6	77,15	66,05	87,87	4	5,98	1,721	7,67	2	5,1	49,2	10,882	0,499	0,704
Greece	25	73,43	73,55	66,45	83,85	0	8,13	1,867	8,39	2	4,6	34,3	23,381	0,576	0,707
New Zealand	26	73,4	79,68	72,37	65,94	1	9,01	1,35	8,93	2	9,4	36,2	24,996	0,692	0,799
Luxembourg	27	72,88	95,14	78,1	33	0	9,1	1,446	8,82	2	8,4	–	60,228	0,648	0,779
Estonia	28	72,18	90,76	74,41	42,14	1	7,74	1,702	9,74	1	6,5	35,8	15,478	0,533	0,749
Israel	29	71,8	86,17	77,17	43,05	9	7,28	3,052	8,05	4	6,1	39,2	25,864	0,503	0,723
Slovenia	30	70,26	80,05	71,4	54,49	0	7,96	1,491	9,25	1	9,2	28,4	22,273	0,61	0,733
Croatia	31	70,17	77,2	63,7	69,92	5	7,4	1,926	8,34	1	4,1	29	13,042	0,532	0,698
Turkey	32	69,96	69,86	58,24	87,88	9	5,7	2,403	6,31	2	4,1	43,6	8,407	0,443	0,651
Russia	33	69,82	57,92	64,4	96,04	7	5,02	2,777	7,29	2	2,3	39,9	10,845	0,428	0,653
Chile	34	69,63	85,13	51,83	74,42	2	7,89	1,576	9,23	1	7	54,9	12,027	0,573	0,743
UAE	35	69,07	–	75,52	38,16	3	2,42	1,745	9,49	2	5,7	–	25,514	–	0,613
Iceland	36	67,02	81,3	83,23	21,93	0	9,71	1,176	9,11	1	9,2	–	36,51	–	0,785
Malta	37	66,96	91,93	75,96	18,27	0	8,39	–	–	–	–	–	19,089	–	–
Jordan	38	65,94	67,31	55,76	79,41	0	3,92	1,969	8,47	3	4,7	38,8	5,53	0,501	0,653
Cyprus	39	65,93	86,4	69,34	31,38	3	7,6	1,847	8,31	1	5,3	–	22,699	–	0,709
Kuwait	40	65,49	67,64	76,92	45,07	4	3,09	1,786	9,61	3	4,3	–	26,321	–	0,635
Romania	41	65,31	69,65	48,35	84,82	4	7,6	1,611	8,8	1	3,7	31	9,06	0,447	0,656
Ukraine	42	64,57	62,36	57,68	78,22	5	6,94	2,096	6,87	1	2,7	28,1	6,848	0,466	0,633
China	43	64,56	61,53	49,08	92,39	10	2,97	1,981	8,55	1	3,5	46,9	6,757	0,382	0,602
Bulgaria	44	64,35	69,81	54,88	70,89	0	7,1	1,903	6,71	1	4,1	29,2	9,032	0,536	0,686
Lithuania	45	63,9	78,96	61,36	46,13	1	7,43	1,723	7,23	2	4,8	36	14,494	0,571	0,744
South Korea	46	63,56	59,36	52,56	86,28	0	7,88	1,691	8,43	1	5,1	31,6	22,029	0,461	0,733
Latvia	47	63,24	81,37	69,91	27,12	0	7,37	1,723	7,52	2	4,8	37,7	13,646	0,579	0,738
South Africa	48	63,03	69,38	43,99	82,8	11	7,91	2,412	2,76	1	5,1	57,8	11,11	0,277	0,63

Table 1 (Continued)

Argentina	49	62,24	54,98	52,51	87,42	2	6,63	1,895	5,67	1	2,9	51,3	14,28	0,528	0,697
Uruguay	50	62,15	68,46	50,33	71,03	1	7,96	1,606	7,96	1	6,7	44,9	9,962	0,609	0,719
Japan	51	60,91	53,84	52,66	83,59	0	8,15	1,358	9,23	1	7,5	24,9	31,267	0,644	0,775
Brazil	52	58,86	61,69	36,82	88,26	4	7,38	2,168	2,95	1	3,5	57	8,402	0,469	0,682
El Salvador	53	58,36	68,8	51,7	53,5	6	6,22	2,163	1,86	1	4	52,4	5,255	0,457	0,353
Bahrain	54	57,66	85,43	53,62	26,24	4	3,53	2,025	9,42	2	5	–	21,482	–	–
Peru	55	57,65	65,1	39,45	74,57	11	6,11	2,046	5,59	2	3,5	52	6,039	0,419	0,65
Jamaica	56	57,22	72,96	49,39	46,53	3	7,34	2,226	1,9	2	3,3	45,5	4,291	0,501	0,661
Philippines	57	57,21	61,34	40,42	76,77	0	6,48	2,386	5,49	4	2,5	44,5	5,137	0,414	0,635
Thailand	58	57,1	63,99	43,1	68,45	5	5,67	2,424	5,42	4	3,3	42	8,677	0,503	0,672
Panama	59	56,77	77,84	55,96	27,76	5	7,35	1,797	7,92	1	3,2	56,1	7,605	0,491	0,703
Mexico	60	56,48	64,59	48,32	57,25	4	6,67	2,191	3,98	2,5	3,5	46,1	10,751	0,502	0,699
Morocco	61	56,35	51,08	44,83	81,4	8	3,9	1,954	7,86	2,5	3,5	39,5	4,555	0,424	0,605
Nigeria	62	55,95	67,16	25,74	85,73	19	3,52	2,724	2,06	3	2,2	43,7	1,128	0,23	0,491
Costa Rica	63	55,28	65,07	62,02	31	0	8,04	1,701	5,9	1	5	49,8	10,18	0,599	0,738
Egypt	64	55,18	51,61	33,97	92,37	12	3,9	1,987	9,37	3	2,9	34,4	4,337	0,442	0,62
Ecuador	65	54,87	59,62	45,96	61,58	12	5,64	2,274	4,41	2	2,1	53,6	4,341	0,443	0,677
Indonesia	66	54,86	65,99	28,87	78,33	9	6,41	1,983	6,14	4	2,3	34,7	3,843	0,406	0,583
Honduras	67	54,16	–	47,73	43,23	9	6,25	2,335	1,79	2	2,5	53,8	3,43	0,333	0,632
Venezuela	68	53,62	62,31	46,59	51,85	8	5,42	2,505	2,3	3	2	48,2	6,632	0,366	0,629
Oman	69	53,57	70,51	57	24,06	4	2,77	1,612	9,34	1,5	4,7	–	15,602	–	0,628
Tunisia	70	53,49	64,4	30,1	73,36	5	3,06	1,797	9,35	3	4,2	39,8	8,371	0,494	0,662
Namibia	71	53,47	59,75	45,97	55,42	6	6,54	2,042	6,37	2	4,5	74,3	7,586	0,43	0,613
Ghana	72	53,35	51,99	44,41	68,87	13	5,35	1,723	7,2	1	3,7	40,8	2,48	0,321	–
Colombia	73	52,66	63,46	47,82	44,52	10	6,4	2,757	2,74	5	3,8	58,6	7,304	0,462	0,705
Mauritius	74	52,35	53,8	59,65	39,2	14	8,04	2,435	5,03	3	2,6	–	12,715	–	0,457
Pakistan	75	51,76	44,45	35,88	86,49	15	3,92	2,694	5,21	4	2,4	30,6	2,37	0,379	0,512
Paraguay	76	51,37	55,54	43,33	57,58	8	6,16	1,997	4,37	1	2,4	58,4	4,642	–	0,644
Guyana	77	51,36	68,9	55,34	20,14	9	6,15	–	–	–	–	–	4,508	–	0,569
Dominican Republic	78	51,07	56,42	46,88	49,77	0	6,13	2,069	3,69	1	3	51,6	8,217	0,432	0,665
Guatemala	79	51,04	52,67	44,24	59,03	11	6,07	2,328	1,21	2	2,8	55,1	4,568	0,441	0,632
Bolivia	80	50,63	56,79	36,14	63,79	12	5,98	2,043	6,35	1	2,9	60,1	2,819	0,358	0,583
India	81	50,54	42,89	31,04	91,1	14	7,68	2,355	6,06	4	3,5	36,8	3,452	0,377	0,548
Gabon	82	50,05	–	49,16	48,94	10	2,72	1,878	7,78	1	3,3	–	6,954	–	–
Trinidad and Tobago	83	49,78	74,17	44,7	22,5	4	7,18	2,23	2,54	2	3,4	38,9	14,603	0,393	0,645
Zambia	84	49,37	54,5	36,15	62,09	17	5,25	1,856	5,56	1	2,6	50,8	1,023	0,231	0,49
Fiji	85	48,67	48,27	52,64	43,22	5	5,66	–	–	–	–	–	6,049	–	–
Sri Lanka	86	48,46	47,93	40,17	61,81	12	6,58	2,584	6,52	5	3,2	40,2	4,595	0,447	–

Table 1 (End)

Baha- mas	87	48,32	50,36	70,68	11,46	0	–	–	–	–	–	–	18,38	–	–
Zim- babwe	88	48,06	49,59	38,17	60,88	17	2,62	2,513	4,66	2	2,1	50,1	2,038	0,261	0,484
Nicara- gua	89	47,34	58,95	49,48	27,41	0	5,68	1,919	6,44	1	2,6	43,1	3,674	0,395	0,617
Belize	90	46,74	65,14	50,22	15,05	0	–	–	–	–	–	–	7,109	–	–
Barbados	91	46,68	62,17	53,82	13,62	0	–	–	–	–	–	–	17,297	–	–
Cote d'Ivoire	92	45,73	50,23	32,11	59,96	19	3,38	2,451	5,16	3	2,1	44,6	1,648	0,283	–
Senegal	93	45,72	35,16	36,43	74,98	11	5,37	2,011	5,19	2	3,6	41,3	1,792	0,315	0,533
Algeria	94	45,56	45,43	24,37	77,9	16	3,17	2,378	7,6	2,5	3	35,3	7,062	0,364	0,612
Kenya	95	45,36	37,78	32,63	75,54	13	5,08	2,429	3,61	2	2,1	42,5	1,24	0,268	0,558
Malawi	96	43,6	48,16	39,28	43,6	14	4,97	2,024	6,3	1	2,7	39	667	–	–
Bot- swana	97	43,06	67,39	37,16	17,11	5	7,6	1,792	5,83	1	5,4	60,5	12,387	0,389	0,62
Albania	98	42,82	52,17	33,04	44,24	4	5,91	2,044	6,51	2	2,9	31,1	5,316	0,534	0,675
Tanzania	99	42,59	42,92	29,34	62,22	13	5,18	1,919	5,52	2	3,2	34,6	744	0,292	0,521
Togo	100	41,56	50,51	28,03	49,25	14	1,75	–	–	–	–	–	1,506	–	–
Uganda	101	41	46,76	28,29	52,02	17	5,14	2,391	5,42	3	2,8	45,7	1,454	–	0,526
Mali	102	40,15	53,96	18,5	53,17	14	5,99	2,238	5,07	3	2,7	40,1	1,033	–	0,436
Benin	103	40,06	38,47	30,78	56,42	0	6,16	–	–	–	–	36,5	1,141	0,28	0,491
Chad	104	38,94	49,82	26,67	41,94	20	1,65	3,007	3,09	3	1,8	–	1,427	–	0,405
Came- roon	105	38,51	38,38	25,25	58,84	16	3,27	2,182	4,59	2	2,4	44,6	2,299	0,256	0,518
Syria	106	38,46	–	26,07	37,51	0	2,36	2,027	8,21	2	2,4	–	3,808	–	0,574
Bangla- desh	107	38,31	33,74	20,61	71,73	13	6,11	2,118	5,17	3	2	33,4	2,053	0,313	0,497
Congo Rep.	108	37,88	–	27,97	20,71	0	3,19	2,417	3,1	2	2,1	–	1,262	–	–
Papua New Guinea	109	36,93	56,2	31,27	17,87	12	6,54	2,224	3,27	2	2	50,9	2,563	–	–
Nepal	110	36,26	34,47	23,46	58,26	17	3,42	–	–	–	–	47,2	1,55	0,367	0,559
Sierra Leone	111	35,34	46,41	23,77	37,03	21	3,57	–	–	–	–	62,9	806	–	–
Iran	112	34,23	27,5	20,9	64,13	13	2,93	2,341	8,08	2	2,5	43	7,968	0,406	–
Mada- gascar	113	33,93	35,84	25,08	44,62	13	5,82	1,77	6,49	1	3,2	47,5	923	–	0,518
Congo Dem. Rep.	114	33,2	–	20,85	53,26	23	2,76	2,707	1,21	3	1,9	–	714	–	–
Guinea- Bissau	115	33,11	52,68	–	15,42	17	2	–	–	–	–	47	827	–	–
Niger	116	30,68	27,03	19,48	52,91	17	3,54	–	–	–	–	50,5	781	–	–
Haiti	117	20,78	42,66	24,04	20,02	15	4,19	2,362	2,63	2	1,6	59,2	1,663	0,228	–
Central African Rep.	118	29,5	33,7	21,08	36,25	16	1,61	2,857	2,5	3	2	61,3	1,224	–	–
Rwanda	119	29,32	31,76	25,91	31,01	18	3,89	2,03	7,74	2	2,8	46,8	1,206	–	–
Myan- mar	120	27,4	–	11,29	18,02	20	1,77	2,59	8,56	3	1,4	–	1,027	–	–
Burundi	121	22,41	27,43	24,19	12,5	19	4,51	–	–	–	–	42,4	699	–	0,446
Saudi Arabia	122	–	–	68,18	48,1	8	1,92	2,357	7,62	3	3,4	–	15,711	–	0,632

**THE RESEARCH OF GLOBALIZATION DEPENDENCE ON THE FACTORS
OF SOCIAL DEVELOPMENT AND GLOBAL SECURITY OF WORLD
COUNTRIES**

Analysis of globalization during the pre-crisis period (early 1980s – first half of 2008)

While analyzing Table 2 for the pre-crisis period, it is evident that the first twenty socially globalized states are: Denmark, Slovenia, Sweden, Norway, Finland, Singapore, Canada, the Netherlands, Austria, Japan, New Zealand, Iceland, United Kingdom, Switzerland, United States, Germany, Australia, France, Luxembourg, Ireland, and Estonia. Ukraine and Russia are 46th and 59th respectively.

The first twenty politically globalized states are: Iceland, Sweden, Norway, Malta, Ireland, Switzerland, Japan, Denmark, Finland, Canada, Slovenia, New Zealand, Luxembourg, Netherlands, Austria, Uruguay, Costa-Rica, Germany, Hungary and Cyprus. Ukraine, United States and Russia are 48th, 56th, and 87th respectively.

The first twenty states by economic globalization (GDP per capita (PPP)) are: Luxembourg, United States, Norway, Ireland, Iceland, Switzerland, Denmark, Austria, Canada, United Kingdom, the Netherlands, Sweden, Finland, Australia, Japan, France, Singapore, Germany, Italy and Spain. Russia and Ukraine are on the 51st and 69th places respectively.

Finally, 14 states top the rankings of three indicators simultaneously: Denmark, Sweden, Norway, Finland, Canada, Netherlands, Austria, Japan, Iceland, Switzerland, United States, Germany, Luxembourg, and Ireland respectively. Ten of them are among twenty most globalized countries by KOF index (Table 2). The exceptions from this list are Japan, Iceland, United States, and Luxembourg.

The abovementioned ten top countries (according to both systems) are characterized by very significant levels of global peace, democracy index, global security, crime control, at the same time by low levels of corruption and inequality among population. This group is mainly composed of non-members of G8, except for Germany and Canada. Such states could be described by shabby economies and absence of attempts on imposing their will on other states worldwide.

Interestingly, according to KOF globalization index the United States (22nd place) and Japan (51st place) demonstrate very strong positions in political globalization, meanwhile, being behind twentieth places in economic and social globalization. Luxembourg (27th place according to KOF), on the other hand, while being the first in economic globalization, is mediocre in terms of social and very low in terms of political globalization. Thus, the 22nd place of the United States according to KOF rating is fully substantiated. This country indicates substantially low values of peace (0.492) and global security (0.546) indices, high potential for terrorist acts (0.435) and significant level of population inequality (0.688). At the same time, the 51st place for Japan and the 27th place for Luxembourg according to KOF do not respond to their substantial values of practically all SDS indicators.

A significant group of rapidly progressing states is composed of the so-called BRIC countries (Brazil, Russia, India, and China). During the pre-crisis period, these countries manifested huge economic growth amounting to 8–12% annually.

It happened both due to the increase in innovational and hi-tech constituent of these countries' development and with the help of intensive exploitation of one's own natural and environmental resources, involvement of cheap labor and enormous consumption of organic fuels (oil, gas, and coal).

Despite rapid economic growth, these countries are on 33rd through the 81st places by KOF index (Brazil – the 52nd, Russia - the 33rd, India - the 81st, China - the 43rd). This fact is explained by low level of sustainability in their development. Having taken the way of economic development prioritization, current states haven't yet managed to provide high environmental and social indicators. For instance, if these countries are analyzed using SDS method, it is evident that they demonstrate high levels of corruption and population inequality; low values of democracy and global security indices. Meanwhile, Russia and India have very low levels of global peace and high potential for terrorist acts.

Ten least globalized countries of the world according to KOF are mostly African countries, such as: Madagascar, Congo, Guinea-Bissau, Niger, Haiti, Central African Republic, Rwanda, Myanmar, Burundi and one country of South-eastern Asia - Saudi Arabia (which has been placed into this group by the developers of KOF index in a purely formal way, due to a lack of economic globalization data). If we analyze these states using SDS method, we will see that, with the exception of Saudi Arabia, which shouldn't be taken into account during further analysis, these are the poorest world countries where GDP per capita amounts to much less than \$ 2,000. These countries indicate the highest levels of corruption, tremendous population inequality, high level of state instability, low levels of peace, democracy, crime control, and global security. These circumstances greatly complicate the integration of abovementioned countries into the world's economy and culture.

In general, while comparing the ten least globalized African states to twenty most globalized states we can assert, that the gap between these two groups consistently expanded in both economic welfare (GDP per capita) and practically by all SDS indicators (state instability, democratization, peacefulness, crime control, global safety, corruption, and population inequality levels) during the period of 2007-2008 and the previous years. This disturbing tendency arose from the increasing tension throughout the world, spread of global diseases, intensification of regional conflicts, and increase in levels of crime rate, corruption, and terrorism.

By analyzing Ukraine alone, we will specify its peculiarities in the context of globalization. The country accounts for powerful human capital s- 46-million highly educated population (according to the UN data, education index in Ukraine amounts to 0.94). Its geographic location and resource potential provide great opportunities for economic and cultural cooperation both with Russia and the Central and Western European states. These states are located on the Black and Azov Sea shores, have fertile soils and powerful gas transportation network. In perspec-

tive of a transit zone, this area is a modern “Silk Way” for energy, cultural and goods exchange between the East and the West. It is strategically important for Ukraine to maintain the stability of this corridor. Its destabilization in the beginning of 2009, due to the interruption of gas transit, led to almost 40% drop in Ukrainian economy and multibillion losses for the economies of Russia and Western European states.

According to KOF index, during the pre-crisis period Ukraine was on the 42nd place in globalization rating. When analyzing Ukraine using the SDS method, we can witness a tremendous corruption level, low crime control, growing inequality between the poorest and the richest and high state instability, which complicates its further integration into global economy and culture.

Analyzing the dependence of globalization on the social development and global security of a particular state in the range of 10 SDS indicators simultaneously is a complicated task. Therefore, we will apply the method of Principal Compound Analysis (PCA), an important element of RapidMiner system [10], for more convenient and demonstrative analysis. This method allows reducing variables with multiple properties to several implicit factors determining these properties. Therefore, the dependence of state’s globalization level on the noted indicators can be simplified and presented by several most essential indicators instead of ten.

Fig. 1 provides the values of dependence of KOF globalization index on ten indicators in PCA plane where the extension of these ten indicators has been projected. In other words, PCA plane is the least distant plane from the whole group of indicator values among in the ten-dimension area of these indicators.

The provided PCA analysis (fig. 1) demonstrates the indicators that in the most essential way influence the level of globalization are the index of state sustainability and the potential for terrorist acts. It is evident that Norway, Sweden, Denmark, Switzerland, Japan, Austria, Canada and other countries are located close to each other in the right half-plane of PCA intersection and are the most globalized countries according to SDS method. On the other hand, Zimbabwe, Guatemala, Pakistan, Venezuela, Cameroon, Kenia and others are located in the lower left quarter of PCA intersection and are respectively the least globalized states according to both KOF and SDS methods.

CONCLUSIONS

1. A new method is introduced to estimate the level of globalization for world countries in the scope of main social development and global security indicators, referred to as SDS method.

2. Using the well-known KOF method and the newly proposed SDS method, we have conducted a comparative analysis of globalization level for various world countries relying on the most important indicators of their social development and security, such as state and political stability, global and regional security, democracy level, crime control, inequality among people and states, corruption level, state’s peace level and the potential for terrorist acts on their territories.

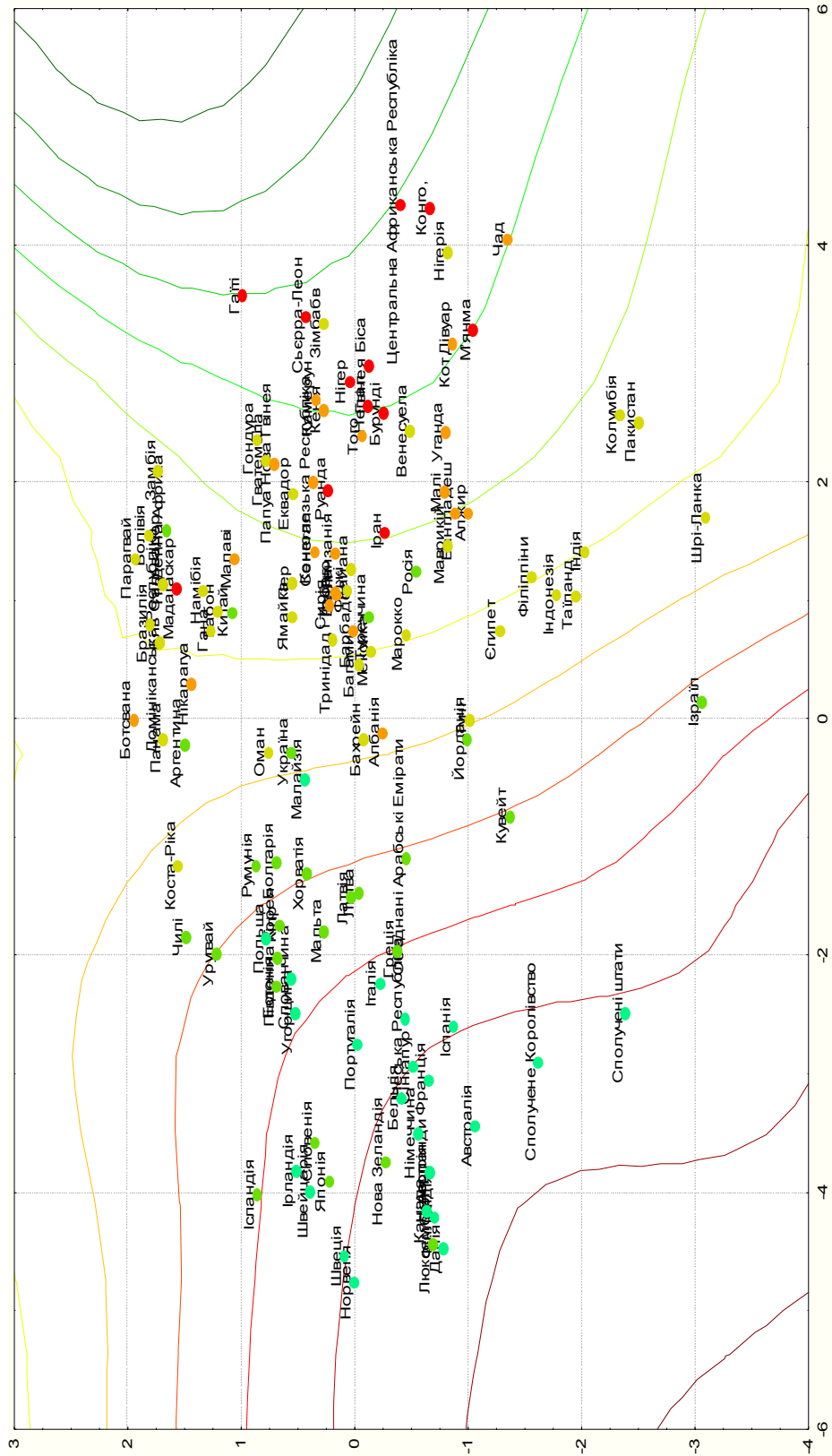


Fig. 1. KOF index of globalization, represented by PCA-method in aggregated scope of SDS-indicators

3. Using the Principal Compound Analysis, variables with multiple properties have been reduced to several implicit factors, which define these properties in the most significant way. These properties are the index of state instability and the potential for terrorist acts. This method allows presenting a simplified way to determine the dependence globalization level of any state not on two most essential SDS indicators, instead of all ten.

REFERENCES

1. *Dreher, Axel*. KOF Index of Globalization 2008. — <http://globalization.kof.ethz.ch/>.
2. *Dreher, Axel* (2006): Does Globalization Affect Growth? Evidence from a new Index of Globalization, *Applied Economics* 38, 10: 1091–1110. Updated in Dreher, Axel, Noel Gaston and Pim Martens (2008).
3. *Monty G. Marshall and Jack Goldstone*. Global Report on Conflict, Governance and State Fragility 2007, *Foreign Policy Bulletin* (2007), 17: 3–21 Cambridge University Press.
4. *The Economist Intelligence Unit's Index of Democracy 2008*, <http://a330.g.akamai.net/7/330/25828/20081021185552/graphics.eiu.com/PDF>.
5. *Global Peace Index*, <http://www.visionofhumanity.org/gpi/results/rankings/2008/>.
6. *Human Development Report 2007/2008*, http://hdr.undp.org/en/media/hdr_20072008_en_complete.pdf.
7. *World Economic Outlook Database-April 2008*. International Monetary Fund.
8. *Згуровський М.З., Гвішвіані О.Д.* Глобальне моделювання процесів сталого розвитку в контексті якості і безпеки життя людей. — Київ: Політехніка, 2008. — 331с.
9. *The 2007 Transparency International Corruption Perceptions Index*. — <http://www.infoplease.com/world/statistics/2007-transparency-international-corruption-perceptions.html>.
10. *Predictive Analysis and Business Intelligence solutions of Rapid-1*. — <http://rapid-i.com/content/view/119/68/lang,en>.

Received 13.02.2009

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

RESEARCH VERSUS PRACTICE IN SOFTWARE ENGINEERING: COMPARISON OF EXPERT OPINIONS TO MEASURED USER PRIORITIES

M. HAIGH

This work explores the differences in software quality perceptions between different groups of people involved with the software development process. Three hundred and fifteen respondents ranked each of thirteen generally accepted attributes of software quality on a scale of one to seven according to their perceived importance for the piece of software most vital to that individual's work. Differences in the priorities assigned to these attributes were explored using a number of different statistical techniques. Results of this research were compared to the results of several existing studies conducted by experts in theory and practice of software engineering. Comparisons between the studies are valuable, because they allow a comparison of observed correlations between desires for different attributes derived in this study with expert opinion on the extent to which these attributes can be realized in conjunction.

INTRODUCTION

For as long there have been computer programs, those developing and using them have been concerned about their quality. Despite this long-standing interest in the topic, even after fifty years of computer systems development the whole software quality area remains plagued with unanswered questions. Among the many fundamental quality issues that have not yet been properly addressed are: inconsistency in software quality factors and their definitions in software quality models [De Jong and Trauth (1993); Denning (1992); Fenton and Pfleeger (1997); Kitchenham and Pfleeger (1996)]; inconsistency in the quality models' attribute relationships; tradeoff relationships between quality attributes; and differences between the perceptions of software quality held by members of different occupational groups [Wilson and Hall (1998); Sverstiuk and Verner (2001)].

This work explores the differences in software quality perceptions between different groups of people involved with the software development process. The article compares the findings of a new survey of software stakeholders with claims made in prominent work produced by experts in the theory and practice of software quality.

BACKGROUND

Software quality is not a simple, easily measured property. To make the concept of software quality more useful and measurable, experts in the field have defined a large number of attributes associated with high quality software, such as reliability, usability and maintainability. These attributes may not be strongly associated with each other, and in practice often cannot all be realized at high levels. Existing research shows that more and more frequently we have to look at

software quality not as an absolute measure, but in terms of trade-offs [Gentleman (1998)]. Ideally, we would like to have every software system possess the highest measure of quality for each software quality attribute, but in reality, everybody involved with the system, from developers to managers and users, has to compromise and focus on the most important quality factors. Even if unlimited resources were available, research suggests that some attributes are in principle impossible to maximize in the same piece of software — for example the optimization of efficiency may limit the level of reliability that can be obtained. Finding the right balance of quality attribute requirements and identifying conflicts among the desired quality attributes is an important step in developing successful software products [Boehm, In (1996)].

A number of existing studies have attempted to identify relationships between different software quality attributes. In most of these studies authors used their own experiences and expert knowledge of software quality issues to derive correlation matrixes showing relationships between software quality factors. Glass (1992); McConnell (1993); Shumskas (1992); and Perry (1991) analyzed the relationships between software quality attributes.

While our study does not attempt to determine the empirically *achieved* levels of each attribute, or even the *perceived* level of attainment in each area, it documents the extent to which a *desire* for a high level of each attribute exhibits positive or negative correlation with a desire for a high level of another attribute. This cannot in itself confirm or deny the correlations in attained levels suggested by earlier studies. But by documenting these correlations of desire, the study makes it possible to compare them with these earlier observations, and so suggest whether the overall desires of each stakeholder group are likely to be realizable. If, for example, users who attached a high priority to efficiency were also unusually likely to attach a high priority to reliability then we would have a clue as to why the development process sometimes yields software of low perceived quality.

METHOD

An online survey of 315 software stakeholders was conducted. The survey included questions covering stakeholder's job function, their relationship to software product most important for their job function, and a set of questions asking the respondent to rate the importance of each of 13 software quality attributes. Each attribute was rated independently on a scale of 1–7, where 7 meant very important and 1 meant not important.

The study addressed two research questions:

1. What correlations exist between the priorities assigned by a large sample of software stakeholders (developers, users, and managers) to different software quality attributes?
2. How do these observed correlations match with those prescribed by experts in the software quality?

The software quality attributes evaluated were:

- **ACCURACY:** The degree to which the software outputs are sufficiently precise to satisfy their intended use.
- **TESTABILITY:** The effort required to test the software to ensure that it performs its intended functions.

- **USABILITY:** The effort required to learn and operate this software.
- **SECURITY:** The extent to which access to this software by unauthorized persons can be controlled.
- **EFFICIENCY:** The amount of computing resources required by this software to perform its function.
- **CORRECTNESS:** The extent to which this software satisfies its specifications and fulfills your mission objectives.
- **PORTABILITY:** The effort required to transfer this software from one hardware configuration or software system environment to another.
- **AUGMENTABILITY (SCALABILITY):** The extent to which this software can take advantage of additional resources to deal efficiently when increased demands are placed on it.
- **INTEROPERABILITY:** The effort required to couple this software with another.
- **ROBUSTNESS:** The degree to which this software continues to function in the presence of invalid inputs or stressful environmental conditions.
- **FLEXIBILITY:** The effort required to modify this software for uses or environments other than those for which it was specifically designed.
- **MAINTAINABILITY:** The effort required to locate and fix an error in this software, or to change or add capabilities.
- **REUSABILITY:** The extent to which components or modules of this software can be used for other purposes.

These attributes were selected through a review of existing literature [Haigh, 2002]. Many of the attributes came from one of the most heavily cited software quality models - the Boehm et al. (1976) software quality model. Some attributes from more recent models were incorporated, and many of the descriptions were updated or simplified to make them more relevant to non-specialists and to reflect technological changes. Correlations identified between these attributes were identified through an examination of leading works in the software quality literature, and are reported below.

The survey was placed online and made available using a web interface connected to a database. The URL was distributed via email to the following groups: 1. Technical staff at the Wharton School Computing Department of the University of Pennsylvania. 2. Executive MBA students and alumni at the Wharton School of the University of Pennsylvania. The students were asked to spread the survey within their own organization. Distribution of the survey to this group of people facilitated reaching managers, users, and technical personnel from all sectors of the US economy. 3. Readers of the following internet newsgroups: comp.databases.ibm-db2, comp.databases.ms-access, comp.databases.ms-sqlserver, comp.databases.sybase, comp.human-factors, comp.software-eng, comp.software.testing, comp.software.measurement. Distribution of the survey to these newsgroups helped to reach wider population of technical personnel with experience in various application development processes.

RESULTS

This section presents the results in the following order: a summary of the background of the respondents. The review of the results continues with a discussion of the data analysis and comparison to the existing expert studies.

DEMOGRAPHIC AND RELATED DATA

Each respondent identified him- or herself as either a user or developer of the software concerned, and as either a manager (managing its users or developers) or non-manager (personally using or developing the software concerned). Combining these two variables thus divided respondents into four groups, which are referred to here as stakeholder roles: User, Manager of Users, Developer, and Manager of Development. Table 1 shows the distribution of respondents by their stakeholder roles.

Table 1. Respondent distribution by stakeholder role

Stakeholder Group	Frequency	Percent
Developer	46	14.6
Manager of Development	52	16.2
User	155	49.2
Manager of Users	59	18.7
Missing Data	3	0.9
Total	315	100

Thirty one percent of the respondents were responsible for development of the software concerned: 16.2% were managing its development, while a further 14.6% were personally performing development tasks. The remaining 69% of the respondents were not associated with the development of the software evaluated, and are therefore treated here as users. 50% personally used the software they evaluated and 18.7% identified themselves as managers of the users of the software they evaluated. (35% of the respondents fell into one or other of the management roles).

The respondents came from a variety of industries as shown in table 2.

Table 2. Respondent distribution by industry sector

Industry Sector	Frequency	Percent
IT and Telecomm	92	29.2
Government	16	5.1
Healthcare	32	10.1
Manufacturing	55	17.5
Military	5	1.6
Academic and Research	15	4.8
Service-Non-Computer	100	31.7
Total	315	100.0

Most of the respondents (60%) came from just two of the sectors: (1) IT and Telecommunications, and (2) non-IT services. Overall, however, seven major industry categories were represented.

Table 3 shows the distribution of stakeholder roles by industry. Respondents associated with developers and developer managers mainly came from IT and Telecommunication industries: 43% and 44% respectively. The service-non-computer industry was most represented for respondents not associated with

software development: 39% of software users and 32% of user managers were from this industry.

Table 3. Stakeholder roles by industry

Industry (column %)	Developer (n=46)	Dev Manager (n=52)	User (n=155)	User Manager (n=59)
IT and Telecomm (n=92)	43.4	44.2	21.3	25.4
Government (n=16)	10.9	1.9	3.4	6.8
Healthcare (n=32)	6.5	7.7	12.3	10.2
Manufactur (n=55)	13.1	13.5	18.7	22
Military (n=5)	2.2	3.9	0.7	1.7
Academic and Research (n=15)	6.5	11.5	3.2	1.7
Service-Non-Computer (n=100)	17.4	17.3	40	32.2

DATA ANALYSIS

Bivariate correlation was used between all quality attributes, yielding a Pearson Correlation matrix. Table 4 presents results of the correlation data analysis. Significance as reported is two tailed. (+) shows a positive correlation, with significance better than the 0.05 level; (-) shows a negative correlation, with significance better than the 0.05 level; (+ +) shows a positive correlation, with significance better than 0.01 level; (- -) shows a negative correlation, with significance better than the 0.01 level; (+ + +) shows a positive correlation, with significance better than the 0.001 level; (- - -) shows a negative correlation, with significance better than the 0.001 level.

Table 4. Correlations between pairs of priorities assigned to software quality attributes (all respondents)

	Corr	Maintn	Usabil	Testab	Flexibi	Portab	Reusab	Inter	Integ	Accur	Robust	Augme	Effic
Correctness		--	++	---	---	---	---	+	--	++	++	---	
Maintainability	--		---	++		-		---		---	---		
Usability	++	---		---	---		---	++		++	++	--	--
Testability	--	++	---		+		+	---		---	---		
Flexibility	--		---	+			++	---	---	---	---		
Portability	--	-								--		-	--
Reusability	--		---	+	++			---	---	---	---	+	
Interoperability	+	---	+	---	--		---					---	--
Integrity	--		++		---		---			---	-	+	
Accuracy	++	---	++	---	---	--	--		--		++	---	
Robustness	++	---	++	---	---		---		-	++		--	
Augmentability	--		--			-	+	---	+	---	--		++
Efficiency			---			--	---					+++	

DISCUSSION

Table 4. shows that maintainability and testability exhibit strong positive correlation. Likewise, correctness and accuracy proved to be positively correlated with each other, but negatively correlated with both testability and maintainability. Correctness and accuracy were also positively correlated with usability – another attribute favored by users and those with less involvement or interest in software quality issues. While robustness showed no significant variation according to any of the independent variables, it too is positively correlated with correctness, accuracy and usability and negatively correlated with maintainability and testability. What these four attributes have in common is an obvious association of the words involved with everyday notions of quality. They were negatively correlated with flexibility, portability, reusability and augmentability – all factors less likely to appear important to those without any understanding of the software development process.

The most striking result is therefore the very close relationships observed within two attribute groups: the first one consisting of maintainability and testability and the second one consisting of correctness, accuracy, robustness and usability. The members of each of these groups show a strong positive correlation with each other and are also very similar in their correlations with each of the attributes outside the group. Interoperability is very strongly correlated with usability and less strongly correlated with correctness – putting it close to the correctness/accuracy/usability group. Flexibility and reusability form a third group, negatively correlated with most of the other attributes. Both of these attributes were consistently rated among the least important – this may explain the general negative correlation but does not in itself explain why they correlate positively with each other.

COMPARISON OF OBSERVED ATTRIBUTE PRIORITY CORRELATIONS WITH EXISTING LITERATURE

A number of existing studies have attempted to identify relationships between different software quality attributes. In most of these studies authors used their own experiences and expert knowledge of software quality issues to derive correlation matrixes showing relationships between software quality factors. Glass (1992); McConnell (1993); Shumskas (1992); and Perry (1991) analyzed the relationships between software quality attributes. Table 5 presents summary of the comparison of the existing studies with this research.

Table 5 shows that experts agree on many correlations, while contradict each other on others. For example, both Shumskas and Perry suggested that maintainability was positively correlated with testability – a relationship strongly echoed in the quality priorities reported by the respondents in the present study. Likewise, both these authors suggested that integrity was negatively correlated with flexibility, another finding echoed by respondents. McConnell suggested a positive correlation between attained levels of correctness and accuracy, and Perry a relationship between correctness, robustness and usability. All three of these claims were reflected in the quality priorities reported in the results of our study. Respondents of this study reported negative relationships between efficiency and interoperabil-

ity (in accordance with Perry and Shumskas), usability (in accordance with Perry and Glass), portability (in accordance with Perry and Glass) and correctness (in accordance with McConnell).

Table 5. Comparison of expert options with each other and with this study

	Class	mcConnel	Shumskas	Perry	This study
Accuracy (positive correlation)		+ Correctness			+ Correctness, Usability, Robustness
Accuracy (negative correlation)		- Efficiency, Robustness			- Flexibility, Maintainability, Reusability, Testability, Portability, Integrity
Correctness (positive correlation)		+ Accuracy	+Integrity, Testability, Flexibility, Reusability	+ Robustness, Usability, Maintainability, Testability, Flexibility	+ Accuracy, Robustness, Usability, Interoperability
Correctness (negative correlation)		- Robustness, Efficiency			- Flexibility, Portability, Reusability, Testability, Maintainability, Integrity, Efficiency
Efficiency	- Portability, Robustness, Usability, Testability	- Correctness, Integrity, Accuracy, Robustness	- Maintainability, Testability, Interoperability, Portability	- Integrity, Usability, Maintainability, Testability, Flexibility, Portability, Reusability, Interoperability	-Interoperability, Usability, Portability, Correctness
Flexibility (positive correlation)			+ Correctness, Maintainability, Interoperability	+ Correctness, Robustness, Usability, Testability, Reusability	+ Testability, Reusability
Flexibility (negative correlation)			- Efficiency, Integrity	- Efficiency, Integrity	- Correctness, Usability, Accuracy, Robustness, Integrity, Interoperability
Integrity (positive correlation)			+ Robustness, Correctness		
Integrity (negative correlation)		- Efficiency	- Efficiency, Flexibility, Interoperability, Reusability	- Efficiency, Flexibility, Reusability, Interoperability	- Reusability, Flexibility, Correctness, Accuracy, Robustness
Interoperability (positive correlation)			+ Flexibility, Interoperability	+ Portability	+ Usability, Correctness
Interoperability (negative correlation)			- Efficiency, Integrity, Robustness	- Efficiency, Integrity	- Maintainability, Testability, Reusability, Flexibility, Efficiency

	Class	mcConnel	Shumskas	Perry	This study
Maintainability (positive correlation)			+ Usability, Correctness, Testability, Flexibility, Reusability	+ Correctness, Robustness, Usability, Testability, Flexibility, Portability, Reusability	+ Testability
Maintainability (negative correlation)			– Efficiency	– Efficiency	– Correctness, Accuracy, Interoperability, Robustness, Usability, Portability
Portability (positive correlation)			+ Reusability	+ Maintainability, Testability, Reusability, Interoperability	+ Interoperability
Portability (negative correlation)	– Efficiency		– Efficiency	– Efficiency	– Correctness, Maintainability, Accuracy, Efficiency
Reusability (positive correlation)			+ Robustness, Correctness, Maintainability, Interoperability, Portability	+ Maintainability, Testability, Flexibility, Portability	+ Flexibility, Testability,
Reusability (negative correlation)			– Efficiency, Integrity	– Robustness, Efficiency, Integrity	– Correctness, Usability, Accuracy, Robustness, Integrity, Interoperability
Robustness (positive correlation)		+ Usability	+ Maintainability, Reusability, Integrity	+ Correctness, Ustability, Maintainability, Testability, Flexibility	+ Correctness, Accuracy, Ustability
Robustness (negative correlation)	– Efficiency	– Accuracy, Correctness, Efficiency, Integrity	– Interoperability, Efficiency, Testability, Flexibility	– Reusability	– Flexibility, Maintainability, Reusability, Testability, Integrity
Testability (positive correlation)			+ Maintainability, Reusability	+ Correctness, Robustness, Ustability, Maintainability	+ Reusability, Maintainability, Flexibility
Testability (negative correlation)	– Efficiency, Usability		– Efficiency, Robustness	– Efficiency	– Correctness, Ustability, Accuracy, Interoperability, Robustness
Usability (positive correlation)		+ Accuracy	+ Maintainability, Testability, Flexibility	+ Correctness, Robustness, Maintainability, Testability, Flexibility	+ Correctness, Accuracy, Interoperability, Robustness
Usability (negative correlation)	– Efficiency, Testability		– Efficiency	– Efficiency	– Maintainability, Flexibility, Reusability, Testability

One main set of exceptions was noted. As reported above, respondents showed strong negative correlations between the two groups of accuracy/

correctness/robustness/ usability and maintainability/testability. While the positive relationships between maintainability and testability were supported by the previous studies, as were positive relationships between correctness and accuracy, other aspects of these findings were less supportable. McConnell suggests that those of attained levels of accuracy and correctness are negatively correlated with robustness. Similarly, Perry believes that correctness and usability are positively correlated with maintainability and testability (supported with respect to the latter by Shumskas). The respondents in the present study, however, show negative correlations between the priorities assigned to these attributes. The views of the experts here seem to make sense.

Further analysis of survey results (not reported here for reasons of space) suggested that accuracy/correctness/robustness/usability was favored by less experienced respondents and end users, while maintainability/testability was favored by more experienced respondents and development managers. Within the samples of developers and development managers the results were more in keeping with those suggested by the experts. As we saw, earlier studies were based on the experience of their authors as developers and observers of development projects rather than a sampling of the views of any broader population, and so we should not be surprised that the views of the experts were closer to those of development staff (whom they more closely resemble) than those of users.

CONCLUSION

This work explores the differences in software quality perceptions between different groups of people involved with the software development process. Three hundred and fifteen respondents ranked each of thirteen generally accepted attributes of software quality on a scale of one to seven according to their perceived importance for the piece of software most vital to that individual's work. The results of this study were compared to the results of the existing expert studies.

Comparisons between these studies and the present research must be made with caution. The present study can neither test nor confirm these earlier models because it examines the quality attributes most prized by different respondents, rather than those that they believe to have been obtained or to be obtainable. Despite this, comparisons between the studies remain valuable, because they allow a comparison of observed correlations between desires for different attributes derived in this study with expert opinion on the extent to which these attributes can be realized in conjunction.

Our comparison of the existing expert studies and our research revealed two main findings. Firstly, the various experts reviewed here differed considerably on the extent to which the attainment of one software quality attribute was likely to assist or hinder the attainment of another. For example, while Perry believed testability to be positively coordinated with robustness, Shumskas claimed that the relationship was negative. Second, the correlations (positive and negative) observed in this study between the priorities attached to different attributes rarely conflict with the relationships in attainable quality levels set out by the expert in earlier research. While the present study found many correlations between attributes not correlated in the other studies, there were relatively few instances in which a negative correlation in this study was accompanied by a positive correlation in the other studies, or vice versa. This suggests that the concepts of software quality held by software stakeholders are not inherently unrealizable,

in as much as correlations between desire for specific software quality attributes were broadly in line with expert opinion on natural correlations between attainable quality levels.

REFERENCES

1. *Arthur I.J.* Measuring Programmer Quality. — New York: John Wiley and Sons, 1985.
2. *Boehm B.W., Brown J.R. and Lipow M.* (Eds.). Quantitative Evaluation of Software Quality. Proceedings of the Second International Conference of Software Engineering. — 1976. — P. 592–605.
3. *Boehm B.W., In H.* Identifying Quality-Requirement Conflicts // IEEE Software. — 1996. — **13**, № 2. — P. 25–35.
4. *De Jong K. and Trauth S.L.* Culture Shock: Improving Software Quality // The Journal of the Quality Assurance Institute, April 1993. — 7(2). — P. 24–30.
5. *Dekkers N.* Maximising Customer Satisfaction // Proceedings of the 12th European Software Control and Metrics Conference in London Eds K. Maxwell, S. Oligny, R. Kusters and E. van Veenendaal, April 2-4th, 2001.
6. *Denning P.J.* What is Software Quality // Communications of the ACM. — 1992. — **35**, № 1. — P. 13–15.
7. *Deutsch M.S and Willis R.R.* Software Quality Engineering. — New York: Prentice-Hall Englewood Cliffs. — 1988.
8. *Fenton N.E. and Pfleeger S.L.* Software Metrics // A Rigorous and Practical Approach, 2nd Edition., New York: PWS Publishing Co. — 1997.
9. *Gentleman W.M.* If software quality is a perception, how do we measure it? // The Quality of Numerical Software: Assessment and Enhancement, Ronald Boisvert, ed., Proceedings of IFIP WG2.5 Working Conference 7, Oxford, UK, 7–12 July 1996, Chapman & Hall, London. — P. 32.
10. *Glass R.L.* Building Quality Software — N.Y.: Prentice Hall, 1992.
11. *Haigh M.* Software Quality Revisited: Diverging Priorities Between Stakeholder Groups? // Ph.D. Dissertation, Drexel University, 2002.
12. *Jacobs S.* Introducing Measurable Quality Requirements: A Case Study // IEEE International Symposium on Requirements Engineering. — 1999. — June 7–11, Limerick, Ireland.
13. *Kitchenham B., Pfleeger S.L.* Software Quality: The Elusive Target // IEEE Software, January 1996. — P. 12–21.
14. *Kusters R.J., van Solingen R., Trienekens J.J.M.* User-perceptions of embedded software quality // Eighth IEEE International Workshop on Software Technology and Engineering Practice incorporating Computer Aided Software Engineering. — 1997. — P. 184–97.
15. *McConnell Steve.* Code Complete: A Practical Handbook of Software Construction. — Redmond. — WA: Microsoft Press, 1993.
16. *Perry W.E.* Quality Assurance for Information Systems: Methods, Tools and Techniques // QED Technical Publishing Group, 1991.
17. *Shumskas A.F.* Software Risk Mitigation // Schulmeyer, G. Gordon and James I. McManus, ed. Total Quality Management for Software. — NY: Van Nostrand Reinhold. — 1992. — P. 190–220.
18. *Sverstiuk M., Verner J.* Modelling Software Quality Through Organizational Position and Software Role: A Pilot Study // 12th European Software Control and Metrics conference. — London. England, April 2001.
19. *Wallmuller E.* Software Quality Assurance: A Practical Approach // Prentice-Hall Englewood Cliffs NJ 1994.
20. *Wilson D.N. and Hall Tracy.* Perceptions of Software Quality: A Pilot Study // Software Quality Journal. — 1998. — № 7. — P. 67–75.

Received 11.07.2007

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

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ І
МЕТОДИ СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ

THEORETICAL AND APPLIED PROBLEMS AND
METHODS OF SYSTEM ANALYSIS

УДК 517+351

Методика построения сценариев развития Украины с использованием SWOT-анализа / Згуровский М.З., Переверза Е.В. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 2. — С. 7–17.

Описана методика построения сценариев развития Украины с использованием индексов и индикаторов устойчивого развития, SWOT-анализа, экспертных методов. Приведены сценарии на краткосрочный, среднесрочный и долгосрочный периоды времени. Табл.: 5 Библиогр.: 8 назв.

UDC 517+351

Methodology of scenarios construction for development of Ukraine using SWOT-analysis / Zgurovsky M.Z., Pereverza K.V. // System Research and Information Technologies. — 2009. — № 2. — P. 7–17.

A method for constructing scenarios for Ukraine using indices and indicators of sustainable development, SWOT-analysis, and expert methods is described. Scenarios for short, medium and long periods are presented. Tabl.: 5. Refs: 8 titles.

УДК 316.722+303.224.43

Моделювання ліній розлому цивілізацій в контексті фундаментальних відмінностей їх культур / Згуровський М., Пасічний О. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 2. — С. 18–34.

Описано розробку методології дослідження світової геополітики з використанням сучасних геополітичних парадигм на основі роботи груп експертів для визначення об'єктів, що досліджуються; побудови набору критеріїв для оцінювання; проведення кількісного оцінювання різниць культур різних об'єктів. Дане дослідження базується на гіпотезі С. Хантингтона про «зіткнення цивілізацій». Рис.: 4. Табл.: 8. Бібліогр.: 17 назв.

УДК 316.722+303.224.43

Моделирование линий разлома цивилизаций в контексте фундаментальных отличий их культур / Згуровский М., Пасичный А. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 2. — С. 18–34.

Описана разработка методологии исследования мировой геополитики с использованием современных геополитических парадигм на базе работы групп экспертов для определения исследуемых объектов; построения набора критериев оценивания; проведения количественного оценивания различий культур разных объектов. Данное исследование основано на гипотезе С. Хантингтона про «столкновение цивилизаций». Рис.: 4. Табл.: 8. Библиогр.: 17 назв.

ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ,
ВИСОКОПРОДУКТИВНІ КОМП'ЮТЕРНІ
СИСТЕМИ

PROGRESSIVE INFORMATION TECHNOLOGIES,
HIGH-EFFICIENCY COMPUTER SYSTEMS

УДК 681.3.07

Интегрирование Украины в европейскую грид-инфраструктуру / Загородний А., Згуровский М., Зиновьев Г., Мартынов Е., Петренко А. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 2. — С. 35–49.

Украинские специалисты в области грид-технологий начали реализацию Украинской национальной грид-инициативы (УНГИ), которая входит в главные действующие европейские проекты EGEE и EGI. Обоснована перспективность и необходимость участия в ведущих мировых научных проектах. Рассматриваются общие черты и характеристики УНГИ, а также европейских грид-структур и проек-

тов, акцентується на увазі на можливості рішення прикладних ґрид-задач в рамках УНГІ. Представляються сучасне становище УНГІ, її обчислювальний і кадровий потенціал. Описуються проблеми і перспективи розвитку УНГІ, а також шляхи і способи міжнародної кооперації. Рис.: 4. Бібліогр.: 10 назв.

УДК 681.3.07

Інтегрування України в європейську ґрид-інфраструктуру / Загородній А., Згуровський М., Зінов'єв Г., Мартинов Є., Петренко А. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 2. — С. 35–49.

Українські фахівці з ґрид-технологій розпочали реалізацію Української національної ґрид-ініціативи (УНГІ), що входить до головних діючих європейських проєктів EGEE та EGI. Обґрунтовано перспективність і необхідність участі в провідних світових наукових проєктах. Розглядаються загальні риси і властивості УНГІ та європейських ґрид-структур і проєктів, акцентується увага на можливості вирішувати прикладні ґрид-задачі у рамках УНГІ. Представлено сучасний стан УНГІ, її обчислювальний і кадровий потенціал. Описуються проблеми і перспективи розвитку УНГІ, а також шляхи і способи міжнародної кооперації. Рис.: 4. Бібліогр.: 10 назв.

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

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

УДК 378.112

Прогнозирование состояния системы управления качеством деятельности учебного заведения / Яковенко В.Д., Гогунский В.Д. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 2. — С. 50–57.

Разработаны основные принципы повышения качества обучения на базе усовершенствования моделей и методов управления деятельностью учебного заведения. Предложены алгоритм определения обобщенного индекса эффективности заведения, сбалансированная система индексов (критериев) и квалиметрическая модель оценивания качества деятельности учебного заведения. Рис.: 4. Бібліогр.: 8 назв.

UDC 378.112

Prognosis of system status for quality management of educational institution activity / Yakovenko V.D., Gogunsky V.D. // System research and information technologies. — 2009. — № 2. — P. 50–57.

The basic principles of upgrading training on the basis of improvement of models and methods for quality management of education institution activity are developed. An algorithm of determination of the generalized index of efficiency, a balanced system of indexes (criteria), and a qualimetric model of evaluating the quality of educational institution activity are proposed. Figs.: 4. Refs: 8 titles.

МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ, ОПТИМАЛЬНЕ
УПРАВЛІННЯ І ТЕОРІЯ ІГОР

METHODS OF OPTIMIZATION, OPTIMUM
CONTROL AND THEORY OF GAMES

УДК 519.873

Технічне обслуговування монотонної системи з урахуванням сумарного напрацювання до відмови кожного її елемента / Песчанський О.І. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 2. — С. 58–66.

Побудовано напівмарківську модель технічного обслуговування паралельної структури з урахуванням сумарного напрацювання до відмови кожного елемента. Знайдено стаціонарні показники якості функціонування системи. Визначено оптимальні величини напрацювання елементів для проведення попереджувального технічного обслуговування. Рис.: 2. Табл.: 2. Бібліогр.: 7 назв.

UDC 519.873

Maintenan for monotonic system with allowance of the total failure time of each element / Peschansky A.I. // System research and information technologies. — 2009. — № 2. — P. 58–66.

A semi-Markov model of maintenance for a parallel system has been constructed with allowance of the total failure time of each element. The stationary indexes of the quality of the system functioning have been determined. Optimal values of the failure time of the elements for precautionary maintenance of the system have been found. Figs: 2. Tabl.: 2. Refs: 7 titles.

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ, ПРОБЛЕМИ І
ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНИХ
СИСТЕМ

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

УДК 517.9

Математическая модель процесса формирования и сохранения коллективных знаний / Ясинский В.В., Капустян А.В., Валеро Х. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 2. — С. 67–77.

На основе предложенной системы аксиом построена и исследована математическая модель процесса формирования и сохранения знаний в больших образовательных системах. Определены условия на некотором временном промежутке заданного гарантированного уровня коллективных знаний. Рис.: 1. Библиогр.: 6 назв.

UDC 517.9

Mathematical model for process of forming and preserving of collective knowledge / Yasinsky V.V., Kapustian O.V., Valero J. // System research and information technologies. — 2009. — № 2. — P. 67–77.

Based on the introduced system of axioms, a mathematical model for forming and process of preserving collective knowledge in large educational systems is constructed and investigated. The conditions for preserving a guaranteed level of collective knowledge are defined. Figs: 1. Refs: 6 titles.

УДК 004.7:004.93

Моделирование модульных систем із застосуванням дискретної теорії паттернів / Коваленко І.І., Кудін О.О. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 2. — С. 78–91.

Розглянуто основні уявлення і положення дискретної теорії паттернів та паттернових мереж — нового напрямку аналізу та моделювання модульних систем. Описано приклади використання паттернових мереж у задачах моделювання локальних комп'ютерних мереж і зображення сценаріїв на основі І-АБО-графів (дерев). Рис.:9. Табл.:1. Бібліогр.: 7 назв.

UDC 004.7:004.93

Modeling of module systems using the discrete theory of patterns / Kovalenko I.I., Kudin O.A. // System research and information technologies. — 2009. — № 2. — P. 78–91.

Principles of the discrete theory of patterns and pattern networks, which is new trend in analyzing and simulating module systems are described. Examples of the use of pattern networks in modeling local networks and notation of scripts on the basis of the AND-OR-chart (trees) are demonstrated. Figs: 9. Tabl.: 1. Refs: 7 titles.

УДК 338.27

Практичне застосування кількісних методів прогнозування / Будаєв П.В. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 2. — С. 92–106.

Розглянуто практику застосування кількісних методів прогнозування за допомогою програми SPSS. Запропоновано алгоритм побудови, оцінки і тестування широко розповсюджених моделей. Наведено приклади прогнозування продажів із використанням описаних моделей на виробничому підприємстві. Рис.: 5. Табл.: 10. Бібліогр.: 8 назв.

UDC 338.27

Practical application of quantitative forecasting methods / Budayev P.V. // System Research and Information Technologies. — 2009. — № 2. — P. 92–106.

Practice in application of quantitative forecasting methods using the SPSS software is considered. An algorithm for creation estimation and testing of wide-spread models is described. Examples of sale forecast at manufacturing plants using these models are demonstrated. Figs: 5. Tabl.: 10. Refs: 8 titles.

ЕВРИСТИЧНІ МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ В
СИСТЕМНОМУ АНАЛІЗІ ТА УПРАВЛІННІ

HEURISTIC METHODS AND ALGORITHMS IN
SYSTEM ANALYSIS AND CONTROL

УДК 62-50

Алгоритм ймовірнісного висновку в байєсових мережах / Терентьєв О.М., Бідюк П.І., Коршевніук Л.О. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 2. — С. 107–111.

Пропонується новий, простіший і точніший, алгоритм формування ймовірнісного виводу в байєсівських мережах на основі навчальних даних. Бібліогр.: 7 назв.

UDC 62-50

Algorithm of probabilistic inference in Bayes networks / Terentyev O.M., Bidiuk P.I., Korshevnyuk L.O. // System research and information technologies. — 2009. — № 2. — P. 107–111.

A novel algorithm for formation of probabilistic inference in Bayes networks on the basis of the training data, which is more exact and simple compared to conventional ones, is offered. Refs: 7 titles.

УДК 004.021

Алгоритм знаходження найбільшого загального підграфа / Ільяшенко М.Б. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 2. — С. 112–120.

Запропоновано новий переборний алгоритм вирішення задачі знаходження найбільшого загального підграфа. Наведено результати чисельного аналізу продуктивності алгоритму на графах різних класів та розмірів, що складають базу графів для оцінки продуктивності алгоритмів вирішення задач встановлення морфізму на графах. Надана оцінка потенціалу застосування розробленого алгоритму для вирішення реальних задач на графах розміром до декількох сотень вершин. Рис.: 10. Табл. 1. Бібліогр.: 13 назв.

UDC 004.021

Algorithm for finding maximal common subgraph / Ilyashenko M.B. // System research and information technologies. — 2009. — № 2. — P. 112–120.

A new enumerating algorithm for the solution of the problem of finding a maximal common subgraph is proposed. The results are presented for the numerical analysis of the algorithm efficiency on graphs of different classes and sizes, which compose the graph database for estimation of the efficiency of algorithms for solving problems concerning morphism on graphs. The potential of using the algorithm in solving real-world problems on graphs sizing up to several hundreds of vertices is estimated. Figs.: 10. Tabl.: 1. Refs: 13 titles.

НОВІ МЕТОДИ В СИСТЕМНОМУ АНАЛІЗІ,
ІНФОРМАТИЦІ ТА ТЕОРІЇ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

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

УДК 504.052

Дослідження переривистого характеру глобалізації в контексті соціального розвитку та безпеки країн світу. Частина 1. Аналіз докризового періоду (до другої половини 2008 р.) / Згуровський О. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 2. — С. 121–132.

Запропоновано методика оцінки рівня глобалізації країн світу в просторі головних вимірів (індикаторів) їх соціального розвитку та безпеки, названу методикою МСРБ. Із використанням відомої методики КОФ та запропонованої МСРБ проведено порівняльний аналіз рівня глобалізації різних країн світу. За допомогою методу Principal Compound Analysis виконано редукцію кількості змінних, які визначають властивості глобалізації щодо деяких характерних чинників, та здійснено спрощене представлення залежності рівня глобалізації від виявлених найсуттєвіших чинників. Рис.: 1. Табл.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

УДК 504.052

Исследование прерывистого характера глобализации в контексте социального развития и безопасности стран мира. Часть 1. Анализ докризисного периода (до второй половины 2008 р.) / Згуровский А. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 2. — С. 121–132.

Предложена методика оценки уровня глобализации стран мира в пространстве главных измерений (индикаторов) их социального развития и безопасности, названная методикой МСРБ. С использованием известной методики КОФ и предложенной МСРБ проведен сравнительный анализ уровня глобализации разных стран мира. С помощью метода Principal Compound Analysis произведена редукция количества переменных, которые определяют свойства глобализации по отношению к некоторым характерным факторам, и осуществлено упрощенное представление зависимости уровня глобализации от выявленных самых существенных факторов. Рис.: 1. Табл.: 1. Библиогр.: 10 назв.

УДК 519.816

Дослідження якості програмного забезпечення: порівняння оцінок експертів при визначенні пріоритетів / Хейг М. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 2. — С. 133–142.

Досліджуються розбіжності в сприйнятті якості програмного забезпечення різними групами людей, причетними до його розробки і використання. 315 респондентів оцінили у відповідності до своїх пріоритетів 13 широко поширених атрибутів якості програмного забезпечення. Оцінювання проводилося за шкалою від одного до семи у залежності від того, наскільки важливим респондент вважав даний атрибут. Розбіжності в оцінках пріоритетів цих атрибутів досліджувалися з використанням статистичних методів. Проведено порівняння отриманих емпіричних результатів із результатами кількох досліджень, виконаних за участю експертів в області розробки програмного забезпечення, що дозволяє порівняти спостережувані взаємозв'язки між отриманими в даній роботі бажаними атрибутами з оцінками експертів в області, спільній для всіх цих атрибутів. Табл.: 5. Бібліогр.: 20 назв.

УДК 519.816

Исследование качества программного обеспечения: сравнение оценок экспертов при определении приоритетов / Хейг М. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2009. — № 2. — С. 133–142.

Исследуются отличия в восприятии качества программного обеспечения разными группами людей, занятыми его разработкой и использованием. 315 респондентов оценили в соответствии со своими приоритетами 13 широко используемых атрибутов качества программного обеспечения. Оценивание проводилось по шкале от одного до семи в зависимости от того, насколько важным респондент считал данный атрибут. Отличия в оценках приоритетов этих атрибутов исследовались с привлечением статистических методов. Проведено сравнение полученных эмпирических результатов с результатами нескольких исследований, выполненных при участии экспертов в области разработки программного обеспечения, что позволяет сравнить наблюдаемые взаимосвязи между полученными в данной работе желаемыми атрибутами с оценками экспертов в области, общей для всех этих атрибутов. Табл.: 5. Библиогр.: 20 назв.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Бідюк Петро Іванович,

професор, доктор технічних наук, професор Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

Будасв Петро Володимирович,

директор з маркетингу Закритого акціонерного товариства «В.М.», Україна, Київ

Валеро Хосе,

доктор наук, професор Університету ім. Мігуеля Фернандеса, Іспанія, Ельче

Гогунський Віктор Дмитрович,

професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри Одеського національного політехнічного університету, Україна, Одеса

Заболотня Тетяна Миколаївна,

молодший науковий співробітник, асистент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем факультету прикладної математики Національного технічного університету України «КПІ», Україна, Київ

Загородній Анатолій Глібович,

академік НАН України, директор Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Київ

Згуровський Михайло Захарович,

академік НАН України, професор, доктор технічних наук, ректор Національного технічного університету України «КПІ», директор Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

Згуровський Олександр Михайлович,

студент Інституту міжнародних відносин Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, Україна, Київ

Зінов'єв Геннадій Михайлович,

професор, завідувач відділу фізики високих щільностей енергії Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Київ

Гляшенко Матвій Борисович,

асистент кафедри комп'ютерних систем і мереж Запорізького національного технічного університету, Україна, Запоріжжя

Капустян Олексій Володимирович,

доцент, доктор фізико-математичних наук, професор кафедри інтегральних і диференціальних рівнянь Київського національного університету ім. Тараса Шевченка, Україна, Київ

Коваленко Ігор Іванович,

професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри програмного забезпечення автоматизованих систем Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна, Миколаїв

Коршевнік Лев Олександрович,

аспірант Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

Кудін Олег Олексійович,

Науковий співробітник Навчально-наукового центру інформаційних технологій Національного університету кораблебудування ім. адм. Макарова, Україна, Миколаїв

Мартинов Євген Сергійович,

доктор фізико-математичних наук, завідувач лабораторії ґрід-обчислень у фізиці Інституту теоретичної фізики ім. М.М. Боголюбова НАН України, Київ

Михайлюк Антон Юрійович,

старший науковий співробітник, кандидат технічних наук, доцент кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем факультету прикладної математики Національного технічного університету України «КПІ», Україна, Київ

Пасічний Олексій Михайлович,

аспірант Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, заступник директора Світового центру даних з геоінформатики та сталого розвитку, Україна, Київ

Переверза Катерина Володимирівна,

аспірант Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

Песчанський Олексій Іванович,

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри вищої математики Севастопольського національного технічного університету, Україна, Севастополь

Петренко Анатолій Іванович,

професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри систем автоматизованого проектування Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

Терентьєв Олександр Миколайович,

інженер першої категорії Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

Хейг Марія,

професор-асистент факультету інформаційних студій Вісконсинського університету, США, Вісконсин, Мілуоке

Яковенко Віра Дмитрівна,

старший викладач Одеського національного політехнічного університету, Україна, Одеса

Ясінський Василь Васильович,

професор, кандидат фізико-математичних наук, директор Інституту моніторингу якості освіти Національного технічного університету України «КПІ», докторант Навчально-наукового комплексу «Інститут прикладного системного аналізу» НТУУ «КПІ» МОН та НАН України, Київ

ПРАВИЛА ОФОРМЛЕННЯ СТАТЕЙ

для журналу

«СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

1. Стаття з анотаціями подається у двох варіантах: у **роздрукованому** (на папері формату А4 через 1,5 інтервали у двох примірниках, розмір шрифту 12 пт., поля зліва та справа по 3 см) та **електронному** вигляді.
2. Анотація подається трьома мовами: російською, українською і англійською (не більше 5–6 рядків).
3. Текст статті набирається у редакторі Microsoft Word 98 (або пізнішої версії) шрифтом Times New Roman із вирівнюванням по ширині.
4. На початку статті вказується індекс УДК, назва статті, ініціали та прізвище автора (авторів).
5. Список літератури подається у порядку посилання після тексту статті.
6. Набір формул здійснюється у редакторі формул «Equations».
7. Символи у формулах (крім особливих випадків) набираються курсивом. Допускаються прямі символи, але їх треба розмітити або включити до списку спеціальних символів.
8. Нумерувати бажано тільки ті формули (винесені на середину рядків), на які є посилання у тексті.
9. Таблиці та рисунки виконуються в одному стилі, нумеруються та подаються після посилань на них у тексті. Не слід повторювати ті ж самі відомості у підписах до рисунків та таблиць.
10. Стаття разом із таблицями, рисунками і списком літератури має бути не більше 15 сторінок. Оглядові статті обсягом до 25 стор. приймаються до публікації за домовленістю із редколегією.
11. До рукопису додаються відомості про кожного автора: країна, місто, місце роботи, службова посада, вчений ступінь та звання, сфера наукових досліджень, контактні телефони, адреса та e-mail.