

НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ НАУК УКРАЇНИ
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ КОМПЛЕКС
«ІНСТИТУТ ПРИКЛАДНОГО СИСТЕМНОГО АНАЛІЗУ»
НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

МІЖНАРОДНИЙ НАУКОВО-ТЕХНІЧНИЙ ЖУРНАЛ

№ 3

2017

ЗАСНОВАНО У ЛИПНІ 2001 р.

РЕДАКЦІЙНА КОЛЕГІЯ:

Головний редактор

М.З. ЗГУРОВСЬКИЙ, акад. НАН України

Заступник головного редактора

Н.Д. ПАНКРАТОВА, проф., д.т.н., Україна

Члени редколегії:

П.І. АНДОН, акад. НАН України

А.В. АНІСІМОВ, чл.-кор. НАН України

Г.-В. ВЕБЕР, проф., Турція

О.Д. ГВІШАНИ, акад. РАН, Росія

П.О. КАСЬЯНОВ, проф., д.ф.-м.н.,
Україна

В.М. КУНЦЕВИЧ, акад. НАН України

О.А. ПАВЛОВ, проф., д.т.н., Україна

Т.Л. СААТІ, проф., США

Л. САКАЛАУСКАС, проф., Литва

А.М. САЛЕМ, проф., Єгипет

І.В. СЕРГІЄНКО, акад. НАН України

Х.-М. ТЕОДОРЕСКУ, проф., Румунія

Е.О. ФАЙНБЕРГ, проф., США

Я.С. ЯЦКІВ, акад. НАН України

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ:

03056, м. Київ,

просп. Перемоги, 37, корп. 35,

ННК «ІПСА» КПІ ім. Ігоря Сікорського

Тел.: 204-81-44; факс: 204-81-44

E-mail: journal.iasa@gmail.com

http://journal.iasa.kpi.ua

У номері:

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

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

• **Теоретичні та прикладні проблеми інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень**

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

NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE
EDUCATIONAL AND SCIENTIFIC COMPLEX
«INSTITUTE FOR APPLIED SYSTEM ANALYSIS»
OF THE NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY OF UKRAINE
«IGOR SIKORSKY KYIV POLYTECHNIC INSTITUTE»

SYSTEM RESEARCH AND INFORMATION TECHNOLOGIES

INTERNATIONAL SCIENTIFIC AND TECHNICAL JOURNAL

№ 3

2017

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, Academician of
NASU

A.V. ANISIMOV, Correspondent
member of NASU

E.A. FEINBERG, Prof., USA

A.D. GVISHIANI, Academician of RAS,
Russia

P.O. KASYANOV, Prof., Ukraine

V.M. KUNTHEVICH, Academician of NASU

A.A. PAVLOV, Prof., Ukraine

T.L. SAATY, Prof., USA

L. SAKALAIUSKAS, Prof., Lithuania

A.M. SALEM, Prof., Egypt

I.V. SERGIENKO, Academician of NASU

H.-N. TEODORESKU, Prof., Romania

G.-W. WEBER, Prof., Turkey

Ya.S. YATSKIV, Academician of NASU

THE EDITION ADDRESS:

03056, Kyiv,
av. Peremogy, 37, building 35,
Institute for Applied System Analysis
at the Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute
Phone: **204-81-44**; Fax: **204-81-44**
E-mail: journal.iasa@gmail.com
<http://journal.iasa.kpi.ua>

In the issue:

• **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**

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

Шановні читачі!

Навчально-науковий комплекс «Інститут прикладного системного аналізу» Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» видає міжнародний науково-технічний журнал

«СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ».

Журнал публікує роботи теоретичного та 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 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», академік НАН України Михайло Захарович Згуровський.

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

Журнал «Системні дослідження та інформаційні технології» входить до таких наукометричних баз даних: EBSCO, Google Scholar, DOAJ, Index Copernicus, реферативна база даних «Україніка наукова», український реферативний журнал «Джерело», наукова періодика України, ВІНТІ РАН, РІНЦ.

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, просп. Перемоги, 37, корп. 35.

Завідуюча редакцією **С.М. Шевченко**
Редактор **Р.М. Шульженко**
Молодший редактор **Л.О. Тарин**
Комп'ютерна верстка та набір **А.А. Патіоха**

Підписано до друку 29.09.2017. 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 «Політехніка»
Свідоцтво ДК № 1665 від 28.01.2004 р.
03056, Київ, вул. Політехнічна, 14, корп. 15
Тел. (044) 204-81-78
Наклад 120 пр. Зам. № 16-163

Dear Readers!

Educational and Scientific Complex «Institute for Applied System Analysis» of the National Technical University of Ukraine «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute» 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 «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», academician of the NASU Michael Zaharovich Zgurovsky.

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

СИСТЕМНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

3 • 2017

ЗМІСТ

ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ, ВИСОКОПРОДУКТИВНІ КОМП'ЮТЕРНІ СИСТЕМИ	
<i>Petrenko A., Kyslyi R., Pysmennyi I.</i> Blockchain as a service for medical records	7
<i>Гаращенко Ф.Г., Кулян В.Р., Юнькова О.О.</i> Про двокритеріальну оптимізацію портфеля акцій	12
<i>Льїн М.І., Новіков О.М.</i> Ідентифікація інтенсивності джерел забруднення атмосфери на базі гібридних обчислювальних систем	21
<i>Петренко О.О.</i> Особливості реалізації сервіс-орієнтованих додатків у хмарі	29
ПРОБЛЕМИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ І УПРАВЛІННЯ В ЕКОНОМІЧНИХ, ТЕХНІЧНИХ, ЕКОЛОГІЧНИХ І СОЦІАЛЬНИХ СИСТЕМАХ	
<i>Зак Ю.А.</i> Оценка компании на основе дисконтированных финансовых потоков и ее остаточной стоимости в условиях нечетких данных	43
<i>Мамедов Дж.Ф., Алиева А.Г.</i> Создание корпоративной сети для компоновочной схемы технологического парка высшего учебного заведения	57
<i>Козуля Т.В., Шаронова Н.В., Козуля М.М.</i> Формування знання-орієнтованого інформаційного забезпечення досліджень складних систем	63
ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	
<i>Горбачук В.М., Макаренко О.С.</i> Особливості прийняття рішень людиною для розв'язання складних міждисциплінарних проблем	73
<i>Вельбицкий И.В.</i> Интеллектуальная визуальная 3D+ полиглот-концепция программирования без языков программирования	88
МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ, ПРОБЛЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ	
<i>Стефанидин Д.В., Стефанишина-Гаврилюк Ю.Д.</i> Оптимізація структури інвестиційного портфеля у природокористуванні на підставі попарного порівняння альтернатив з урахуванням ризику невикористаних можливостей	107
<i>Кирилюк В.С., Левчук О.И., Гавриленко Е.В.</i> Математическое моделирование и анализ напряженного состояния в ортотропной пьезоэлектрической среде с круговой трещиной	117
<i>Nikolaiev S.</i> Metric and algorithm for similarity between two temporal event sequences calculation	127
Реферати	136
Відомості про авторів	145

SYSTEM RESEARCH AND INFORMATION TECHNOLOGIES

3 • 2017

CONTENTS

PROGRESSIVE INFORMATION TECHNOLOGIES, HIGH-EFFICIENCY COMPUTER SYSTEMS	
<i>Petrenko A., Kyslyi R., Pysmennyi I.</i> Blockchain as a service for medical records	7
<i>Garashchenko F.G., Kulyan V.R., Iunkova O.O.</i> About two-criteria optimization of the stock portfolio	12
<i>Ilin M.I., Novikov O.M.</i> Identification of the intensity of air pollution sources based on hybrid computer systems	21
<i>Petrenko O.O.</i> Features of service-oriented applications in the cloud	29
DECISION MAKING AND CONTROL IN ECONOMIC, TECHNICAL, ECOLOGICAL AND SOCIAL SYSTEMS	
<i>Zack Y.A.</i> Company valuation based on discounted financial flows and its residual value under fuzzy data	43
<i>Mamedov J.F., Aliyeva A.G.</i> Creation of a corporative network for the composes scheme of the technological park of a higher educational school	57
<i>Kozulia T.V., Sharonova N.V., Kozulia M.M.</i> Knowledge-based information support formation for complex systems research	63
ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ	
<i>Gorbachuk V.M., Makarenko O.S.</i> The features of human decision making for complex interdisciplinary problems solution	73
<i>Velbitsky I.V.</i> Smart visual 3D+ polyglot-concept of programming without programming languages	88
МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ, ПРОБЛЕМИ І ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНИХ СИСТЕМ	
<i>Stefanyshyn D.V., Stefanyshyna-Gavryliuk Yu.D.</i> Optimization of the investment portfolio in natural resources use based on pairwise comparison of alternatives taking into account the risk of lost opportunities	107
<i>Kirilyuk V.S., Levchuk O.I., Gavrilenko O.V.</i> Mathematical modeling and analysis of the stressed state in the orthotropic piezoelectric medium with a circle crack	117
<i>Nikolaiev S.</i> Metric and algorithm for similarity between two temporal event se- quences calculation	127
References	136
Information about the authors	145

BLOCKCHAIN AS A SERVICE FOR MEDICAL RECORDS

A. PETRENKO, R. KYSLYI, I. PYSMENNYI

Abstract. Storing and sharing healthcare data is challenging. Despite different data types that can be used on different platforms, also there is a question of security of gathered data. Storing data in a traditional way may cause data leak and it unavailability in critical moments. In this work we present decentralized way of storing patient data that can be used to avoid security and unavailability problems. A blockchain is a distributed and decentralized ledger that contains connected blocks of transactions. Unlike other ledger approaches, blockchain guarantees tamper proof storage of approved transactions.

Keywords: cloud computing, medical records, distributed databases, computer science, online care helping, sensor data storage.

INTRODUCTION

Patient data, such as medical history, tests results or other sensitive information should be stored in such a way, that patient himself, any doctor or clinical institution in which patient appeared should have access to it and possibility to use it. This will lead to significant increase of effectiveness of medical help, and research. Despite evidence that the value of healthcare data exchange is large, these issues, described below, remain significant barriers. Main idea is to provide access to patient data on demand — as needed (in case of emergency, planning examination etc.) to give doctors an instrument for making decisions based not only on current symptoms, but also on historical data. And at the same time provide patient himself with more relevant information about his health and possible issues. For this purposes clinical data have to be standardized according to international standards (e.g. ISO 12967 [2]).

Failing to secure the patient record has financial and legal consequences, as well as the potential to impact patient care. Securing patient data is a challenging task. Data privacy involves ensuring only authorized parties may access the medical record, especially considering that using blockchain technology means that full copy of all data are stored on different nodes across the network. This impacts any healthcare system, as patient privacy is not only an ethical responsibility, but a legal mandate. Patient data is also an asset to the institution, and unauthorized access could compromise competitive advantages or reveal proprietary practices.

The main goal of this work is to describe an approach to effectively and securely share healthcare information within all interested parties. We believe that a patient's record should be consistent and easy to access, and the terms of its access strictly dictated by the patient. As a secondary goal, this data should not only be shared, but shared in such a way that all interested parties should have an ability to use anonymized data for research purposes.

To meet these requirements we assume that user data has to be encrypted by any trusted cryptographic algorithm and accessed using digital signature of the patient.

BLOCKCHAIN

A blockchain is a distributed transaction ledger. The blockchain itself is composed of blocks, with each block representing a set of transactions. As a data structure, a blockchain has several interesting properties. First, blocks are provably immutable. This is possible because each block contains a hash, or numeric digest of its content, that can be used to verify the integrity of the containing transactions. Next, the hash of a block is dependent on the hash of the block before it. This effectively makes the entire blockchain history immutable, as changing the hash of any block ($n - i$) would also change the hash of block n . The blockchain itself does not depend on a central, trusted authority. Rather, it is distributed to all nodes participating in the network. Because no centralized authority may verify the validity of the blockchain, a mechanism for reaching network consensus must be employed.

In one of the most widely used implementations of blockchain technology — Bitcoin, a Proof of Work function is used to ensure network consensus. This strategy requires that any node wishing to add a block to the blockchain must complete a computationally expensive (but easily verifiable) puzzle first. At a high level, this ensures consensus of the network because there is an opportunity cost (the computation time) to building a block. There are several other techniques used, such Proof of Stake and Proof of Activity, but all are designed to drive the network to consensus on blockchain validity. Miners are nodes that assemble the blocks and add them to the blockchain. It is through the miners that the consensus strategy is enacted, usually via some incentivisation protocol. In Bitcoin, for example, miners are incentivized by collecting transaction fees and also by a reward for adding the block to the blockchain. In general, however, there should exist an incentive for them to only build on top of valid blocks, which in turn drives the entire network to consensus.

A transaction has the following characteristics:

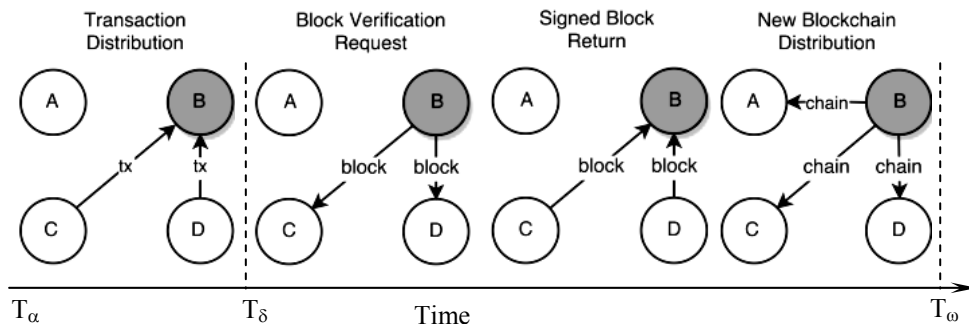
- hash: The SHA256 hash of the resource payload. Although the actual resource itself is not entered into the blockchain, its content can be verified using the transaction hash upon retrieval;
- contributor Signature: The digital signature of the originating node;
- record data itself;
- secure Index: An encrypted index allowing for data discovery without leaking information about the record.

The hashes of all transactions in a block contribute to the hash of the Merkle Root, or Block Header. The Block Header contains the following metadata used to validate the new block:

- hash: The SHA256 hash of the block. Assume the Merkle Root has two children c_0 and c_1 , with a previous block b_{n-1} . Let the hash of b_n equal the hash of the hashed concatenation of the of the b_{n-1} , c_0 , and c_1 hashes;
- previous Block Hash: The hash of the previous block, for validation purposes;
- contributor Signatures: For each node that contributed to the block, a digital signature is required. This is to ensure that the block remains valid after it was assembled by the miner;
- miner Elections: Each node that contributed to the block is required to provide a random number encrypted with the node's private key. This will be used to seed the election of the next miner, which is discussed below.

ADDING DATA TO THE BLOCKCHAIN

For purposes of such system can be used different implementations of blockchain, currently we suggest to use hyperledger (as it is supported by key players in blockchain development, such as IBM, Huawei and Intel), figure.



Algorithm: Creating a new block and adding it to the blockchain

Hyperledger uses a NoSQL DB in the backend for storage of data (transactional info). Every transaction is identified by a unique txn id and the relevant info is encrypted, then mapped to this id and stored in the DB. Now if we want to query all txn in the same ledger, we must keep the txn id with us which we will pass to the NoSQL DB as keys. The DB will return all the relevant information about the transaction to you. On the high-level algorithm can be presented as follows (can be used with different implementations of blockchain):

input : A set N of Nodes participating in the network;

input : A blockchain, B representing a sequence of $\{b_0 \dots b_n\}$ where b_n is the current (last) block on the chain;

input : T , the end of the Message Distribution phase;

1) $a \leftarrow \text{ElectMinerNode}(b_n, N)$;

2) $P \leftarrow \{\}$; //Begin with an empty set of pending transactions.

3) while $\text{CurrentTime}() < T$ do

```

    foreach  $n \in N - \{\alpha\}$  do
         $P \leftarrow P \cup \text{GetTransactionsFromNode}(n)$ ;
    4)  $b \leftarrow \text{AssembleBlock}(P)$ ;
    5)  $N0 \leftarrow \{n \in N \mid (\exists t) [t \in P \wedge \text{IsOrigin}(n, t)]\}$ ; //  $N0$  is all nodes with
 $\geq 1$  transaction;
    6) foreach  $n \in N0$  do
         $\text{SignBlock}(B, n)$ ;
    7)  $B0 \leftarrow \text{AddBlock}(B, b)$ 
    8) foreach  $n \in N$  do
         $\text{DistributeBlockchain}(B0, n)$ .

```

VOTING

To save consistency of data, we need to make voting schema different from classic (where block accepts when it is accepted by more than 50% nodes of the network). Only trusted nodes should have an ability to vote. In this implementation, trusted nodes can be identified by their public keys.

The vote object contains the details of the vote being made as well as the signature and identifying information of the node passing the vote:

- 1) node_pubkey;
- 2) signature;
- 3) previous_block;
- 4) voting_for_block;
- 5) is_block_valid;
- 6) invalid_reason;
- 7) timestamp.

SECURITY

As said above, data security is fundamental priority for the system. A multifaceted approach to security for our proposed network includes:

Blockchain Encryption. Nothing in the blockchain should be stored in plain text. Public information, or information intended for all nodes in the network, is expected to be encrypted by a network-shared key, while sensitive information should be encrypted by the originating node.

Smart Contracts. Patients may authorize access to their record only under certain conditions or for a specific reason. This notion of the codification of usage agreements is called smart contracts. There is precedent for their use on a blockchain, and given the complexities involved with our healthcare use case, smart contracts will play an important role. The intent is to ensure that patient authorization is codified and executable — for example, a patient may want their data shared only for research of a certain type, or for a given time range. These smart contracts can be placed directly on the blockchain as transactions, providing not only assurances of validity but an audit mechanism as well.

Value of the system

Patient has control over the data.

Patient has no problems with reaching his data and sending it to required specialist or institution.

More data can be used by specialist which may lead to more accurate diagnosis.

Data can be shared for research activities including clinical trials, enabling larger and more diverse patient populations.

SUMMARY

There are a lot of challenges in storing such sensitive information as medical records. This model will create a possibility to run general medical network that will allow benefiting all healthcare industry by using more accurate and fresher data — while patients will receive more accurate diagnoses, doctors will receive wider datasets for researches.

All this, will make possible to use wider different cognitive tools like IBM Watson for healthcare purposes.

REFERENCES

1. *BigchainDB: A Scalable Blockchain Database*. — Available at: <https://www.bigchaindb.com/whitepaper/>
2. *INTERNATIONAL STANDARD ISO 12967-1. ISO 12967-1:2009(E)*. — Available at: http://hsevi.ir/RI_Standard/File/1551
3. *Marques Rodolphe. How We Integrated With MongoDB / Rodolphe Marques*. — Available at: <https://blog.bigchaindb.com/how-we-integrated-with-mongodbd6a45e776d6b>
4. *Peterson Kevin. A Blockchain-Based Approach to Health Information Exchange Networks / Kevin Peterson, Rammohan Deeduvanu, Pradip Kanjamala, Kelly Boles, Mayo Clinic*. — Available at: <https://www.healthit.gov/sites/default/files/12-55-blockchain-based-approach-final.pdf>
5. *King Sunny. PPCoin: Peer-to-Peer Crypto-Currency with Proof-of-Stake / Sunny King, Scott Nadal*. — Available at: <https://peercoin.net/assets/paper/peercoin-paper.pdf>
6. *Thomas Roy. Fielding. Architectural Styles and the Design of Network-based Software Architectures / Roy Thomas*. — Available at: https://www.ics.uci.edu/~fielding/pubs/dissertation/fielding_dissertation.pdf
7. *Hyperledger Whitepaper*. — Available at: <http://www.the-blockchain.com/docs/Hyperledger%20Whitepaper.pdf>
8. *Ashish K. Jhaa The use of health information technology in seven nations / Ashish K. Jhaa, David Doolanb, Daniel Grandt, Tim Scott, David W. Batese*. — Available at: <https://pdfs.semanticscholar.org/2b67/6d6013995a65cca36596d7d906233af32b39.pdf>

Received 04.07.2017

ПРО ДВОКРИТЕРІАЛЬНУ ОПТИМІЗАЦІЮ ПОРТФЕЛЯ АКЦІЙ

Ф.Г. ГАРАЩЕНКО, В.Р. КУЛЯН, О.О. ЮНЬКОВА

Анотація. Наукове дослідження присвячено розробленню нових та застосуванню відомих методів математичного моделювання для розв'язання задачі оптимального інвестування у ризиковані цінні папери. Сформульовано нові постановки задач та побудовано методи траєкторного моделювання динаміки ринкової вартості однієї акції та портфеля акцій. Для розв'язання задачі моделювання оптимальної траєкторії портфеля акцій застосовано методи оптимального керування системою, у якій параметрами керування є частки акцій різних видів у портфелі. Задачі оптимального керування динамікою інвестиційного портфеля сформульовано для критеріїв якості, один з яких використовує «програмну траєкторію» (розв'язується задача побудови оптимального за очікуваною ринковою вартістю портфеля акцій), а другий — відхилення розрахункової траєкторії від термінального значення (розглядається задача про оптимізацію побудованого портфеля інвестицій за ризикованістю). Для її розв'язання застосовано допустиму й ефективну множини портфелів. Алгоритм розв'язання задачі дозволяє динамічно враховувати інструментальні ринкові обмеження, які задаються для математичного формулювання задачі.

Ключові слова: математична модель, допустима множина, ефективна множина, диверсифікація інвестиційного портфеля.

ВСТУП

Для розв'язання та аналізу прикладних задач портфельного інвестування існує широкий спектр підходів [1, 3, 4]. Більшість з них передбачає активне використання методів технічного аналізу, які дають змогу визначити ринкову вартість акції у майбутньому. Така побудова прогнозу за допомогою добре розроблених математичних формалізацій і підходів та відносно нескладної практичної реалізації активно розвивається і ефективно застосовується не тільки на фондовому ринку. Використання аналітичних методів фундаментального аналізу дозволяє з'ясувати, чому ринкова вартість акції у майбутньому буде якраз такою. Натепер, зважаючи на складність математичних моделей для використання в дослідженні процесів ринкового ціноутворення активів фондового ринку, методи фундаментального аналізу ще не знайшли ефективного розвитку та конструктивного застосування. Принципи аналізу процесів, які ґрунтуються на розробленні та застосуванні методів математичного моделювання [2], [4], очевидно, є найбільш перспективними і їх розробленню приділяється належна увага науковців. У цій роботі зроблено спробу побудови нових фундаментальних підходів для розв'язання задач портфельного інвестування, що ґрунтуються на застосуванні методів математичного моделювання динамічних систем та допустимої і ефективної множини портфелів акцій.

Мета роботи – розробити аналітичні методи та обчислювальні процедури для розв'язання задачі двокритеріальної оптимізації портфеля ризико-

ваних цінних паперів у постановці Г. Марковиця за наявності кількісних та якісних інструментальних ринкових обмежень на структуру портфеля.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ПРО ОПТИМІЗАЦІЮ ПОРТФЕЛЯ АКЦІЙ З УРАХУВАННЯМ ОБМЕЖЕНЬ

Побудовані у працях [2, 3] математичні моделі динаміки ринкової вартості однієї акції та портфеля акцій, а також сформульовані для них критерії якості дають змогу поставити такі нові прикладні математичні задачі портфельного аналізу про:

- 1) оптимальний початковий портфель інвестицій за заданого рівня його очікуваної прибутковості на визначений час у майбутньому;
- 2) оптимізацію інвестиційного портфеля на основі заданої «програмної траєкторії»;
- 3) оптимальну диверсифікацію інвестиційного портфеля за заданих його початкової структури та рівня очікуваної прибутковості.

Математична задача побудови оптимальної динаміки портфеля акцій у найбільш загальній постановці Г. Марковиця має вигляд [1]

$$\left\{ \begin{array}{l} r^T x = \max_x, \\ x^T V x \rightarrow \min_x, \\ I^T x = 1, \\ x_i \geq 0, i = \overline{1, n}, \end{array} \right. \quad (1)$$

де T — знак транспонування.

Предметний зміст цієї двокритеріальної задачі полягає у визначенні оптимальної інвестиційної стратегії, що передбачає максимізацію очікуваної прибутковості та мінімізацію ризику одночасно. Згідно з Г. Марковицем критерії в задачі є суперечливими, тобто покращення результату за одним з них призведе до погіршення за іншим. Це означає, що збільшенню прибутковості портфеля відповідає збільшення його ризикованості. Існують різні підходи до розв'язання задачі (1), проте вони здебільшого мають академічний характер і їх важко застосувати до реального інвестування у цінні папери. Кроком, який може наблизити формулювання задачі (1) до потреб практичного інвестування, є розбиття цієї двокритеріальної задачі на дві однокритеріальні, перша з яких передбачає оптимізацію ризику за заданого рівня очікуваної прибутковості на обраний момент часу $r_p(T)$, а друга — оптимізацію очікуваної прибутковості для визначеного інвестором «оптимального» рівня ризику портфеля τ_p . У деяких випадках такі математичні постановки задач нелінійного програмування дозволяють отримати аналітичні розв'язки [2], але при цьому не розглядаються істотні особливості, які полягають у тому, що на кожному кроці розв'язання задачі про диверсифікацію портфеля акцій необхідно враховувати як бюджетні, так і інструментальні обмеження, які дають змогу проаналізувати наявність на ринку потрібної кількості та якості фінансових інструментів:

$$x_i(t) \in X(t), \quad i = \overline{1, n}, \quad (2)$$

де $X(t)$ — обмежена замкнена множина допустимих портфелів. Математична постановка задачі оптимізації ризику інвестиційного портфеля за визначеного на момент часу T рівня його очікуваної прибутковості $r_p(T)$ є такою:

$$\left\{ \begin{array}{l} r^T(T)x(T) = r_p(T), \\ x^T(T)Vx(T) \rightarrow \min_x, \\ I^T x(T) = 1, \\ x_i(t) \geq 0, \quad i = \overline{1, n}, \quad t \in [t_0, T], \\ x_i(t) \in X(t), \quad i = \overline{1, n}, \quad t \in [t_0, T]. \end{array} \right. \quad (3)$$

На прикладі інвестування в акції розглянемо задачу оптимізації ризику портфеля для заданого рівня його очікуваної прибутковості $r_p(T)$, урахувавши при цьому обмеження (2).

Математичні моделі формування динаміки ринкової вартості однієї акції та портфеля акцій [1, 2] у загальному вигляді можуть бути записані так:

$$\frac{dr_i}{dt} = f_i(r_i, t, \alpha), \quad r_i(t_0) = r_{i0}, \quad t \in [t_0, T], \quad i = \overline{1, n} \quad (4)$$

та

$$\frac{dr_p}{dt} = f^p(r_p, x_i, \dot{x}_i, r_i, \dot{r}_i, t), \quad r_p(t_0) = r_{p0} \quad (5)$$

відповідно. Тут r_i — очікувана ринкова вартість i -ї акції; r_p — очікувана ринкова вартість інвестиційного портфеля; x_i — частка акцій i -го виду в портфелі, $i = \overline{1, n}$; V — коваріаційна матриця ($n \times n$); I — одиничний вектор ($n \times 1$); t — час; α — вектор параметрів моделі.

Процедуру розв'язання задачі (1) умовно поділимо на дві частини. Перша полягатиме у формулюванні динамічної постановки і розв'язанні для неї задачі оптимального керування траєкторією портфеля акцій.

ЗАДАЧА ПРО ПОБУДОВУ ОПТИМАЛЬНОЇ ТРАЄКТОРІЇ ДИНАМІКИ РИНКОВОЇ ВАРТОСТІ ПОРТФЕЛЯ АКЦІЙ

Дано: математична модель динаміки формування ринкової вартості інвестиційного портфеля (5); бажаний рівень прибутковості портфеля у момент часу T $r_p(T) = r_{pT}$; часовий інтервал $t \in [t_0, T]$; обмеження на керування $x(t_i) \in X(t)$; критерій якості

$$J(x(t)) = \int_{t_0}^T (r_p(t) - r_p(T))^2 dt + \Phi(r_p(t_0)) \rightarrow \min_{x(t) \in X(t)},$$

де $\Phi(r_p(t_0))$ — задана функція.

Необхідно: визначити вектор $x(t_0)$ та відповідно $r_p(t_0)$. Вектор x описує частки акцій різних видів у портфелі і є таким: $x = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$, де n — кількість видів акцій.

Для розв'язання поставленої задачі оптимального керування з одним закріпленим кінцем траєкторії та фіксованим часом застосуємо принцип максимуму. В результаті отримаємо можливість визначити $x(t_0)$ і на його основі $r_p(t_0)$. Функція Гамільтона матиме вигляд

$$H(r_p(t), \psi(t), t, x(t)) = -(r_p(t) - r_p(T))^2 + \psi(t) \times f(r_p, x_i, \dot{x}_i, r_i, \dot{r}_i).$$

Необхідна умова її оптимальності за керуванням є такою:

$$\frac{\partial(- (r_p(t) - r_p(T))^2 + \psi(t) * f(r_p, x_i, \dot{x}_i, r_i, \dot{r}_i))}{\partial x_i} = 0, \quad i = \overline{1, n}. \quad (6)$$

Розв'язком рівняння (6) є функція керувань інвестиційним портфелем $x^*(\psi(t), r_p(t), t)$. Побудуємо спряжену систему у вигляді

$$\dot{\psi}(t) = -2(r_p(t) - r_p(T)) + \psi(t) \times f'_{r_p}(r_p, x_i, \dot{x}_i, r_i, \dot{r}_i).$$

Сформуємо умову трансверсальності на лівому кінці траєкторії:

$$\psi(t_0) = -\frac{\partial \Phi(r_p(t_0))}{\partial r_p}.$$

Крайова задача принципу максимуму матиме вигляд

$$\begin{cases} \dot{\psi}(t) = -2(r_p(t) - r_p(T)) + \psi(t) \times f'_{r_p}(r_p, x_i, \dot{x}_i, r_i, \dot{r}_i), \\ \dot{r}_p(t) = f(r_p, x_i, \dot{x}_i, r_i, \dot{r}_i) \end{cases}$$

за відомих значень $\psi(t_0)$, $r_p(T)$.

Розв'язком крайової задачі будуть функції $x(t)$ і $\psi(t)$, на основі яких будується оптимальний процес. Інша математична проблема, яка може бути сформульована під час розв'язання задачі (1), полягає у диверсифікації портфеля інвестицій.

ЗАДАЧА ПРО ОПТИМАЛЬНУ ДИВЕРСИФІКАЦІЮ ПОРТФЕЛЯ АКЦІЙ

«Програмна» траєкторія з огляду на властивості прикладної задачі може бути сформульована дослідником і змістом її стане бажаний рівень очікуваної прибутковості інвестиційного портфеля у визначений на обраному інтервалі момент часу. Позначимо її через $r_p^*(t)$, $t \in [t_0, T]$.

Формально постановка задачі може бути такою: для математичної моделі (5) за умов

$$r_p(t_0) = r_{p_0}, \quad r_p(T) = r_{p_T}, \quad t \in [t_0, T] \quad (7)$$

та критерію якості

$$J(r_p(t), t) = \int_{t_0}^T (r_p(t) - r_p^*(t))^2 dt \quad (8)$$

визначити функцію $r_p(t)$, яка на заданому інтервалі часу надає оптимального значення критерію якості (8) та задовольняє умови (7).

Для розв'язання задачі (5), (7), (8) як задачі оптимального керування із двома закріпленими кінцями траєкторії та фіксованим часом застосуємо процедуру принципу максимуму. Побудуємо функцію Гамільтона

$$H(\psi(t), t, u(t)) = -(r_p(t) - r^*(t))^2 + \psi(t) \times f(r_p, x_i, \dot{x}_i, r_i, \dot{r}_i),$$

$$\frac{\partial (-(r_p(t) - r^*(t))^2 + \psi(t) f(r_p, x_i, \dot{x}_i, r_i, \dot{r}_i))}{\partial r_i} = 0, \quad i = \overline{1, n}. \quad (9)$$

Розв'язком рівняння (9) є функція керування інвестиційним портфелем $x^*(t)$.

Крайова задача принципу максимуму матиме вигляд

$$\begin{cases} \dot{\psi}(t) = -2(r_p(t) - r^*(t)) + \psi(t) * f'_{r_p}((r_p, x_i, \dot{x}_i, r_i, \dot{r}_i)), \\ \dot{r}_p(t) = f(r_p, x_i, \dot{x}_i, r_i, \dot{r}_i) \end{cases}$$

за умов (6).

Розв'язавши побудовану систему звичайних диференціальних рівнянь, визначимо функції $r_p(t)$, $\psi(t)$, які, будучи підставленими у розв'язок рівняння (2), дадуть змогу визначити структуру оптимального інвестиційного портфеля на вибраному інтервалі часу.

Побудовану динаміку очікуваної прибутковості портфеля акцій як розв'язок задачі (3) можна зобразити у вигляді графіка (рис. 1).

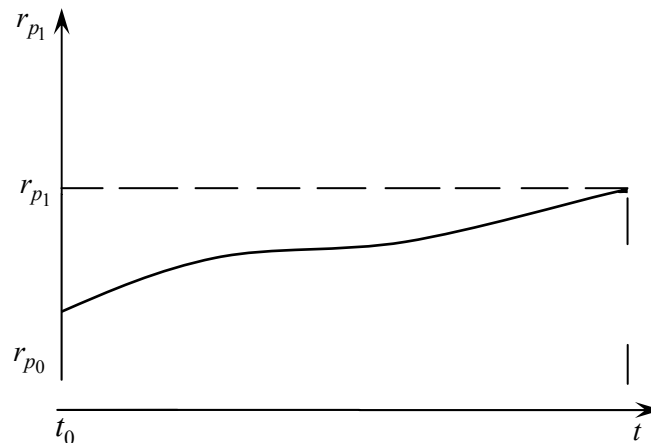


Рис. 1. Динаміка очікуваної ринкової вартості портфеля акцій

Важливою особливістю є те, що така динаміка є оптимальною щодо лише критерію очікуваної прибутковості портфеля. Загальна задача Г. Мар-

ковиця оптимізації портфеля ризикованих активів (1) передбачає врахування й іншого критерію — ризикованості. Skorистаємось для цього надалі множинами допустимих та ефективних портфелів.

Однією з основних задач портфельного інвестування є проблема оптимальної диверсифікації такого портфеля. Ця задача, у свою чергу, передбачає визначення оптимальних моментів часу, у які доцільно здійснювати реструктуризацію.

Розв'язуючи цю проблему, варто відзначити, що з огляду на технологію здійснення операцій на фондовому ринку змінювати структуру портфеля можна тільки під час торгових сесій. Тому часто за моменти диверсифікації розглядають фіксовані моменти часу t_0, t_1, \dots, t_k . Наведемо формальний алгоритм вибору моментів диверсифікації портфеля акцій, що ґрунтується на розв'язанні задачі оптимального керування динамікою такого портфеля та аналізі його траєкторії.

ЗАДАЧА ПРО ОПТИМАЛЬНИЙ ВИБІР МОМЕНТІВ ДИВЕРСИФІКАЦІЇ ПОРТФЕЛЯ АКЦІЙ

Процедура розв'язання задачі полягає у побудові послідовності моментів часу таких, що у кожен із них існує і може бути визначено керування портфелем, що дозволить перейти у наступну точку траєкторії. Покладемо $i = 0$, $r_p(T) = r_{pT}$, $t_i = T$.

Крок 1. Наступний момент диверсифікації визначаємо за правилом $t_{i+1} = T - i\Delta t$. Тут Δt – крок за часом. Розв'язуємо задачу оптимального керування з одним закріпленим кінцем траєкторії $r_p(t_i) = r_{pi}$ та фіксованим часом для математичної моделі рівняння динаміки ринкової вартості портфеля акцій (5) і критерію якості

$$J(x(t)) = \int_{t_{i+1}}^{t_i} f^o(x(t), r_p(t), r(t), t) dt. \quad (10)$$

Оптимальний процес на цьому кроці позначимо через $(r_p^*(t_{i+1}); t_{i+1})$.

Крок 2. Умову на правому кінці кожного інтервалу розбиття траєкторії можна записати у вигляді

$$\left| r_p^*(t_i) - r_p(t_i) \right| \leq \varepsilon, \quad (11)$$

де ε – деяке наперед задане число.

Якщо умова (11) виконується, то фіксуємо значення t_{i+1} і $r_p^*(t_{i+1})$ як один з поточних моментів диверсифікації портфеля і очікуваної прибутковості портфеля, що йому відповідає.

Крок 3. Далі $i := i + 1$. Якщо виконується умова $t_{i+1} > t_0$, то переходимо до кроку 1, інакше — вихід.

Наведений алгоритм дає змогу побудувати послідовність моментів диверсифікації портфеля акцій на основі критерію якості (10).

Перейдемо до другої задачі у загальній постановці Г. Марковиця про оптимізацію ризику оптимального за очікуваною прибутковістю портфеля акцій. Для цього скористаємось множинами допустимих та ефективних портфелів, що відповідають обраному набору акцій [1, 2].

Процедура оптимізації ризику для оптимального за очікуваною прибутковістю портфеля полягає у виборі на кожному кроці допустимих портфелів, які лежать на прямій EF (рис. 2). Ця лінія з'єднує точку E , що відповідає оптимальному за ринковою вартістю портфелю з точкою F , яка належить ефективній множині. Ця пряма паралельна осі ризикованості портфелів σ . Особливістю такого вибору оптимального портфеля є те, що на цій прямій згідно з означенням кожному з портфелів відповідає одна і та ж очікувана прибутковість, але ризикованість зменшується у напрямку осі r_p . Така властивість допустимої множини інвестиційних портфелів дозволяє, з одного боку, урахувати обмеження

$$x_i(t) \in X(t), i = \overline{1, n},$$

а з другого — визначити портфель «оптимальної» очікуваної прибутковості з меншим ризиком.

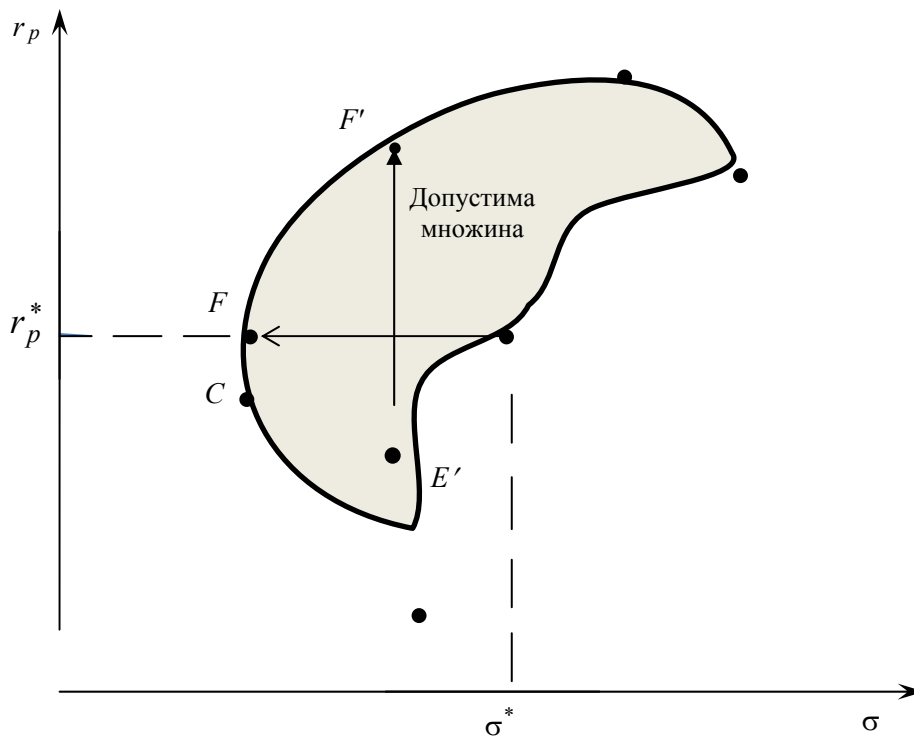


Рис. 2. Розв'язок задачі про оптимізацію ризику портфеля акцій

Якщо ж визначений портфель міститься у точці E' , тобто є таким, для якого немає можливості зменшити ризикованість згідно із запропонованим вище правилом, то «оптимальний портфель» визначаємо, перемістивши його з точки E' у точку F' , яка є елементом ефективної множини портфелів. Фактично це означає визначення портфеля акцій з більшою очікуваною

прибутковістю. Така процедура дозволяє конструктивно врахувати наявні обмеження під час диверсифікації портфеля.

Інша математична постановка задачі про оптимізацію очікуваної прибутковості $r_p(T)$ інвестиційного портфеля за визначеного на момент часу T рівня його ризику τ є такою:

$$\left\{ \begin{array}{l} r^T(T)x(T) \rightarrow \max, \\ \quad \quad \quad x \\ x^T(T)Vx(T) = \tau, \\ I^T x(T) = 1, \\ x_i(t) \geq 0, i = \overline{1, n}, t \in [t_0, T], \\ x_i(t) \in X(t), i = \overline{1, n}, t \in [t_0, T]. \end{array} \right\}$$

Процедура оптимізації очікуваної прибутковості r_p портфеля для визначеного рівня його ризику τ полягає у виборі на кожному кроці допустимих портфелів, які лежать на прямій EG (рис. 3), що з'єднує точку E , яка відповідає оптимальному за очікуванню прибутковістю розрахованому портфелю, і точку G , яка належить ефективній множині. Ця пряма паралельна осі ринкової вартості r_p . Особливістю такого вибору оптимального портфеля є те, що на цій прямій згідно з означенням кожному з портфелів відповідає одна і та ж ризикованість, але ринкова вартість r_p збільшується. Ця властивість допустимої множини інвестиційних портфелів, як і в попе-

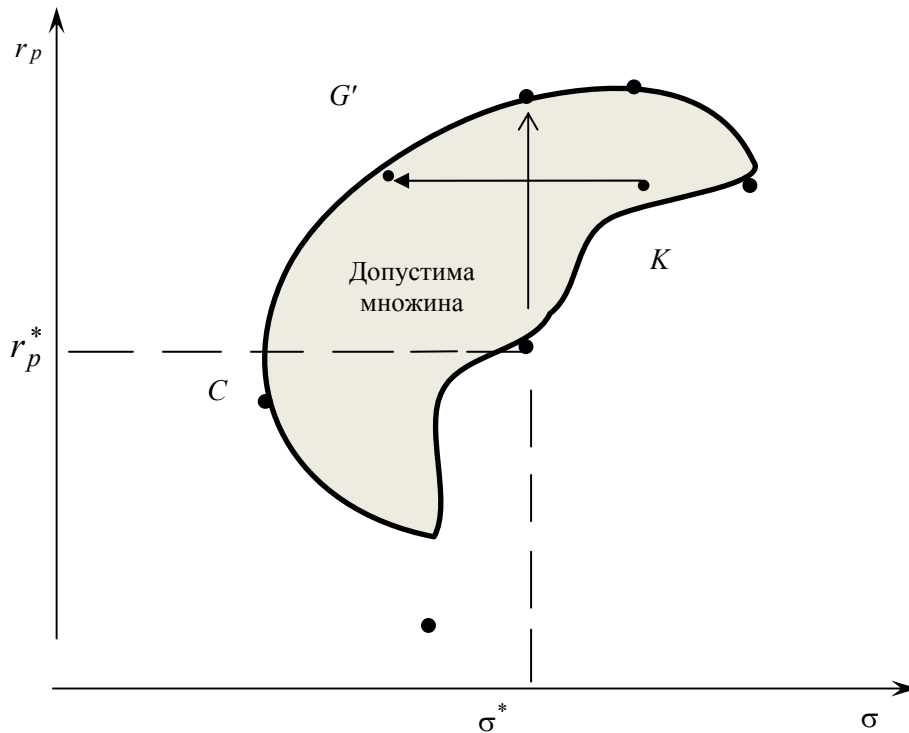


Рис. 3. Розв'язок задачі про оптимізацію ринкової вартості портфеля акцій

редньому випадку, дозволяє, з одного боку, врахувати обмеження $x_i(t) \in X(t)$, $i = \overline{1, n}$, а з другого — визначити портфель з «оптимальним» ризиком і більшою очікуваною прибутковістю.

Якщо визначений портфель міститься у точці K , тобто такий, для якого немає можливості збільшити очікувану прибутковість згідно із запропонованим вище правилом, то «оптимальний портфель» визначаємо, перемістивши його із точки K у точку G' , яка є елементом ефективної множини портфельів. Фактично це означає зменшення ризикованості портфеля акцій. Ефективна множина або множина ефективних портфельів на рис. 2, 3 розміщена на дузі CD . Вона є множиною Парето [1] для існуючого на ринку набору акцій.

ВИСНОВОК

У дослідженні наведено нові математичні постановки задач оптимізації структури портфеля акцій та розроблено методи їх розв'язання. Математичні задачі, сформульовані на основі моделей динаміки ринкової вартості однієї акції (4) та портфеля акцій (5), дають змогу розв'язувати задачу оптимальної диверсифікації портфеля інвестицій з урахуванням кількісних та якісних ринкових обмежень на структуру портфеля.

ЛІТЕРАТУРА

1. *Шарп У.* Инвестиции / Уильям Ф. Шарп, Гордон Дж. Александер, Джеффри В. Бэйли. — М.: Инфра-М, 1999. — С.1027.
2. *Гаращенко Ф.Г.* Качественный анализ математических моделей инвестиционного менеджмента / Ф.Г. Гаращенко, В.Р. Кулян, В.В. Рутецкая // Кибернетика и вычислительная техника. — 2005. — № 148. — С. 3–10.
3. *Fedir G. Garashchenko* Modelling and Analysis of Investment Trends / Fedir G. Garashchenko, Viktor R. Kulian, Vladislava V. Rutitskaya // Journal of Automation and Information. — New York: Connecticut, 2011. — **43**, Issue 12. — P. 48–58.
4. *Yuri Zaychenko* Direct and dual problem of investment portfolio optimization under uncertainty / Yuri Zaychenko, Inna Sydoruk // International Journal “Information Technologies & Knowledge”. — 2014. — **8**, N 3. — P. 225–242.

Надійшла 15.05.2017

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ДЖЕРЕЛ ЗАБРУДНЕННЯ АТМОСФЕРИ НА БАЗІ ГІБРИДНИХ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

М.І. ІЛЬІН, О.М. НОВІКОВ

Анотація. Розглянуто метод ідентифікації інтенсивності джерел хімічно взаємодійних забруднювальних домішок з урахуванням явища самоочищення під час досягнення граничної концентрації. Для обчислювальної реалізації показано можливість застосування паралельних методів на базі графічних прискорювачів архітектури Nvidia CUDA. Метод ідентифікації джерел в сукупності з паралельною обчислювальною реалізацією з використанням модифікованого методу червоно-чорного впорядкування (Д4) дає змогу скорочувати час моделювання у 12 разів та використовувати оперативну пам'ять на 30% у ході застосування графічного прискорювача Nvidia c2050 порівняно з вузлом кластера НТУУ «КПІ».

Ключові слова: метод параметричної ідентифікації, забруднення атмосфери, гібридні обчислювальні системи, GPGPU.

ВСТУП

Завдання моделювання процесів забруднення атмосфери мають практичну значущість для дослідження впливу промислового забруднення на навколишнє середовище та в контексті моніторингу в умовах надзвичайних ситуацій техногенного походження. Досліджуваним моделям притаманна трансобчислювальна складність унаслідок швидкого збільшення кількості змінних з підвищенням просторової роздільної здатності, а в разі їх використання для завдань моніторингу в реальному часі додатково виникають обмеження на максимальний час обчислень. Одним з напрямів подолання складності є застосування високопродуктивних обчислювальних систем, зокрема гібридних із застосуванням прискорювачів. Останні вирізняються високою енергоефективністю і відносно низькою вартістю (у найбільш поширеному випадку використання шейдерних блоків графічних прискорювачів загального призначення [1], [2]). На жаль, методи, що використовуються для обчислювальної реалізації в системах на базі тільки центральних процесорів, потребують модифікації у разі застосування для графічних прискорювачів через істотно меншу ємність оперативної пам'яті (та істотно більшу кількість обчислювальних ядер) [2], [3]. Таким чином, актуальним є створення нових та модифікація існуючих методів обчислювальної реалізації моделей процесів забруднення атмосфери та відповідних інформаційних технологій застосування гібридних високопродуктивних обчислювальних систем на базі графічних прискорювачів.

Мета роботи — розроблення методу ідентифікації інтенсивності джерел у процесах забруднення атмосфери хімічно взаємодійними домішками

з урахуванням аномальних фізичних властивостей явища самоочищення з досягненням граничної концентрації. Під час обчислювальної реалізації показано можливість застосування паралельних методів на базі графічних прискорювачів архітектури Nvidia CUDA.

МОДЕЛЬ ПРОЦЕСУ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ЗАБРУДНЮВАЛЬНИХ ДОМІШОК

Процес розповсюдження забруднювальних домішок в атмосфері можна подати у формі системи варіаційних нерівностей вигляду [4], [5]

$$\left(\frac{\partial u_s}{\partial t}, v_s - u_s \right) + (A(\lambda)u_s, v_s - u_s) + \psi_s(v_s) - \psi_s(u_s) \geq \geq (f_s, v_s - u_s), \quad s = 1, \dots, N_s, \quad (1)$$

$$\text{в } Q \quad \forall v \in H^1(\Omega) = V$$

з початковими умовами

$$u_s|_{t=0} = u_{s0} \text{ в } \Omega, \quad s = 1, \dots, N_s, \quad (2)$$

де $u_s(t, z)$ — функція, визначена на обмеженій відкритій множині Ω простору \mathbb{R}^n , $n = 1, 2, 3$, з гладкою границею Γ на часовому інтервалі $(0, t_k)$ для $t_k < \infty$, $\Theta = \Omega \times (0, t_k)$, $s = 1, \dots, N_s$, N_s — кількість домішок;

(f, g) — дія функціонала $f \in (H^1(\Omega))^*$ на елемент $g \in H^1(\Omega)$;

$A(\lambda): V \rightarrow V^*$ — оператор, визначений білінійною формою

$$(A(\lambda)u_s, \xi) = \sum_{i=1}^n \int_{\Omega} \left(k_i(z) \frac{\partial u_s}{\partial z_i} \frac{\partial \xi}{\partial z_i} - c_i(z) \frac{\partial u_s}{\partial z_i} \xi \right) dz + \int_{\Omega} d(z) u_s \xi dz, \quad \forall \xi \in H^1(\Omega) = V, \quad s = 1, \dots, N_s, \quad (3)$$

тут $d(z)$ враховує нелінійний характер хімічної взаємодії забруднювальних домішок;

$$d(z) = D(z) + Q_s(u_1 \dots u_{N_s}), \quad s = 1, \dots, N_s,$$

де $D(z)$ — процеси типу «джерело-стік»; $Q_s(u_1 \dots u_{N_s})$ — нелінійні хімічні реакції; N_s — кількість домішок. Нелінійним функціям хімічних реакцій можна надати вигляду [7]

$$Q_s(u_1 \dots u_{N_s}) = - \sum_{i=1, i \neq s}^{N_s} \alpha_{si} u_i + \sum_{i=1, i \neq s}^{N_s} \sum_{j=1, j \neq s}^{N_s} \beta_{sij} u_i u_j, \quad s = 1, \dots, N_s;$$

$$f_s(t, z) = \sum_{j=1}^n q_j(t) \delta(z - z^j) \text{ — функції джерел забруднення хімічними}$$

домішками, $s = 1, \dots, N_s$; $q_j(t)$ — інтенсивність джерел; n — кількість джерел забруднення;

$\psi_s \neq +\infty$ — опуклий, обмежений знизу функціонал

$$\psi_s(v) = \int_{\Omega} \varphi_s(v(z)) dz, \quad s = 1, \dots, N_s;$$

ψ_s — неперервно диференційований функціонал. Відповідні функції φ_s :

$$\varphi_s(v) \in \frac{d\psi_s}{dt}, \quad s = 1, \dots, N_s. \quad (4)$$

У роботі досліджується процес самоочищення у разі перевищення граничної концентрації забруднювальної домішки, що визначається як

$$\psi_s = \begin{cases} \frac{1}{2} (m_s(t, z) u_s(t, z))^2, & u_s(t, z) \geq u_{s \max}(z), \\ 0, & u_s(t, z) < u_{s \max}(z), \end{cases} \quad s = 1, \dots, N_s, \quad (5)$$

де $m_s(t, z)$ — коефіцієнт самоочищення; $m_s(t, z) \in M = L^\infty(\Theta)$, де M — простір параметрів m_s з нормою $\|m_s\|_M = \|m_s\|_{L^\infty(\Theta)}$. Допустимі значення параметрів $M_{\text{доп}} = \{m_s \in M \mid m_{s \max} \geq m_s \geq 0\}$.

У випадку відсутності аномальних властивостей самоочищення модель може бути зведена до відомої UNI-DEM (Unified Danish Eulerian Model [6, 7]).

ІДЕНТИФІКАЦІЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ДЖЕРЕЛ

Розглянемо метод ідентифікації інтенсивності джерел моделі (1)–(3), яка враховує процес самоочищення та хімічну взаємодію забруднювальних домішок, якщо збурювальні функції процесу f_s нерівності (1) не задано. Необхідно за вимірами $y_s^{\text{ВІМ}}$ у точках $z^1, \dots, z^n \in \Omega$ функції $u_s(t, z^i)$ отримати оцінки f_s , які, задовольняючи (1)–(3), забезпечували б мінімум функціонала:

$$J(u, \lambda, f_s) = \int_0^{t_k} \sum_{s=1}^{N_s} w_s \sum_{i=1}^n [y_{si}^{\text{ВІМ}}(t) - y_{si}(t)]^2 dt \rightarrow \inf_{f_s \in F_{\text{доп}}}, \quad s = 1, \dots, N_s, \quad (6)$$

де $y_{si}(t, z^i) = h(t, z^i) u_s(t, z^i)$ — функція стану, яка вимірюється в точках $z^1, \dots, z^n \in \Omega$; $h(t, z^i)$ — відомий оператор; $y_{si}^{\text{ВІМ}}(t)$ — вимірювання; f_s — збурювальні функції процесу; $F_{\text{доп}}$ — множина допустимих збурювальних функцій процесу; w_s — вагові коефіцієнти.

Інтенсивності джерел шукаємо із застосуванням принципу Лагранжа, а також методу функціональної параметризації [5] для розв'язання системи варіаційних нерівностей (1)–(3) у вигляді

$$L(\cdot) = J(\cdot) + \left(\frac{\partial u_s}{\partial t} + A(\lambda) u_s - f_s, p_s \right) \Big|_{\Theta} + (\varphi(u_s), p_s) \Big|_{\Theta}, \quad s = 1, \dots, N_s;$$

$$u_s \Big|_{\Sigma} = u_{s\Sigma};$$

$$u_s \Big|_{t=0} = u_{s0} \quad \text{в } \Omega,$$

де $p_s(t, z)$ — спряжена функція, яка отримується зі спряженої системи [5]:

$$-\frac{\partial p_s}{\partial t} + A^*(\lambda)p_s = -\frac{\partial J}{\partial u_s} \quad \text{в } \Theta, \quad s = 1, \dots, N_s; \quad (7)$$

$$p_s|_{\Sigma} = p_{s\Sigma}; \quad (8)$$

$$p_s|_{t=t_k} = 0 \quad \text{в } \Omega. \quad (9)$$

Невідомі параметри інтенсивності джерел знайдемо на основі градієнтної процедури

$$f_s^{i+1} = \text{Pr} \left\{ f_s^i - \omega_{f_s} \left(\frac{\partial L(\cdot)}{\partial f_s} \right)^i \right\}, \quad s = 1, \dots, N_s,$$

де $\frac{\partial L(\cdot)}{\partial f_s} = -p_s \delta(z - z_j)$, $j = 1, \dots, n$; i — індекс поточної ітерації; f_s^0 , ω_{f_s} — задані.

Систему варіаційних нерівностей (1)–(3) розв’язано з використанням методу функціональної параметризації [4], а отже, варіаційну нерівність (1)–(3) можна подати у формі системи рівнянь:

$$\frac{\partial u_s}{\partial t} + A(\lambda)u_s + \varphi(u_s) = f_s \quad \text{в } \Theta, \quad s = 1, \dots, N_s; \quad (10)$$

$$u_s|_{\Sigma} = u_{s\Sigma}; \quad (11)$$

$$u_s|_{t=0} = u_{s0} \quad \text{в } \Omega, \quad (12)$$

де $\varphi(u_s)$ — шукана функція процесу самоочищення, визначена співвідношеннями (4), (5). Згідно з працею [4] цю функцію шукаємо у вигляді розв’язку задачі пошуку $\{\hat{u}_s(t, z), \hat{m}_s(u, t, z)\}$, що задовольняє та забезпечує мінімум функціонала:

$$J(m) = \sum_s \int_0^{t_k} \int_{\Omega} \left\{ \begin{array}{l} (u_s - u_{s \max})^2, \quad u_s|_{\Gamma_B} \geq u_{s \max} \\ (m_s (u_s - u_{s \max}))^2, \quad u_s|_{\Gamma_B} < u_{s \max} \end{array} \right\} dz dt \rightarrow$$

$$\rightarrow \inf_{m_s \in M_{\text{доп}}} , \quad s = 1, \dots, N_s.$$

У результаті розв’язання сформульованої задачі визначається коефіцієнт самоочищення $m_s(t, z)$.

ПАРАЛЕЛЬНА ОБЧИСЛЮВАЛЬНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДЛЯ ГІБРИДНИХ СИСТЕМ НА БАЗІ ГРАФІЧНИХ ПРИСКОРЮВАЧІВ

Найбільш обчислювально складним етапом у градієнтній процедурі попереднього розділу є розв’язання систем лінійних алгебричних рівнянь (СЛАР), що виникають у разі застосування неявних кінцево-різницевих схем до співвідношень (7)–(9), (10)–(12). Доцільним є підвищення продуктивності його обчислювальної реалізації.

У роботі використовуються дві модифікації методу обчислювальної реалізації — прямий (на основі модифікованого методу червоно-чорного впорядкування (Д4 впорядкування, МД4) [8, 9] та LU декомпозиції, прямий МД4) і паралельний гібридний (на основі МД4 та стабілізованого методу біспряжених градієнтів, гібридний МД4 [4]). Розроблені модифікації методу відрізняються низькими вимогами до пам'яті, що дозволяє ефективно використовувати їх у високопаралельних обчислювальних системах з обмеженою ємністю оперативної пам'яті [10].

Розглянемо основні етапи обох методів. Після застосування скінченновимірної апроксимації вихідних рівнянь математичної фізики задача зводиться до розріджених СЛАР великої розмірності спеціального вигляду:

$$AU = B.$$

У випадку двовимірної області матричну модель задачі

$$\begin{bmatrix} A_1 & A_2 \\ A_3 & A_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B^* \\ F \end{bmatrix}$$

можна звести до блокового вигляду з можливістю незалежного розв'язання для окремих блоків:

$$\begin{bmatrix} A_1 & A_2 \\ 0 & A'_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} B^* \\ F' \end{bmatrix},$$

що дозволяє отримати розв'язок вихідної системи вдвічі меншого розміру:

$$A'_4 U_2 = F';$$

$$U_1 = A_1^{-1} B^* - A_1^{-1} A_2 U_2;$$

$$U = [U_1, U_2];$$

при цьому A'_4 спеціального вигляду, що допускає збереження без накладних витрат на позиції ненульових елементів (позиції ненульових елементів обчислюються аналітично).

Спеціальна процедура зберігання A'_4 дозволяє економити понад 30% оперативної пам'яті порівняно з існуючими форматами збереження розріджених матриць [10].

Розв'язок системи $A'_4 U_2 = F'$ знаходиться з використанням двох методів — прямого та гібридного (ітераційного). Відповідно до прямого МД4 матриця A'_4 розділюється на перетинні діагональні блоки; розрахунок LU декомпозиції ведеться із застосуванням реалізації BLAS [11], що забезпечує можливість перенесення програмної реалізації без змін вихідних кодів на нові моделі графічних прискорювачів. У гібридному методі на базі МД4 обчислення $A'_4 U_2 = F'$ виконується ітераційно-паралельна реалізація методу біспряжених градієнтів (BiCGSTAB [12]).

Порівняно з реалізацією для систем без застосування прискорювачів скорочення часу моделювання досягає 12 разів. В експерименті використовувався графічний прискорювач Nvidia c2050 та вузол кластера НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» у конфігурації 2xIntel Xeon E5440 2.83 ГГц/8 Гбайт RAM.

ПРИКЛАД ЗАСТОСУВАННЯ

Розглянемо приклад застосування для пошуку інтенсивності джерел у системі з трьох хімічно взаємодійних домішок з урахуванням аномального процесу самоочищення у разі досягнення граничної концентрації в умовах шести джерел викидів, вимірювань у 20 точках у ділянці 512×512 . Необхідно знайти інтенсивність джерел та параметр самоочищення для першої домішки.

Оцінки інтенсивності джерел та параметра самоочищення на різних кроках градієнтної процедури подано на рис. 1, 2.

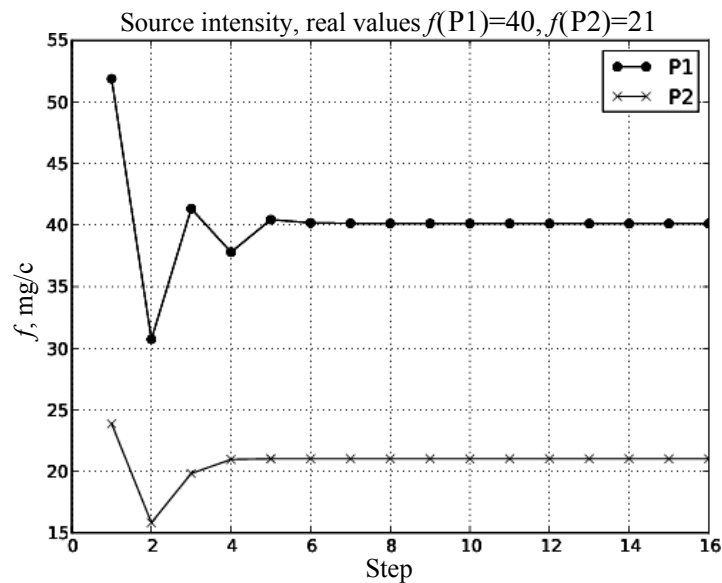


Рис. 1. Оцінки інтенсивності джерел

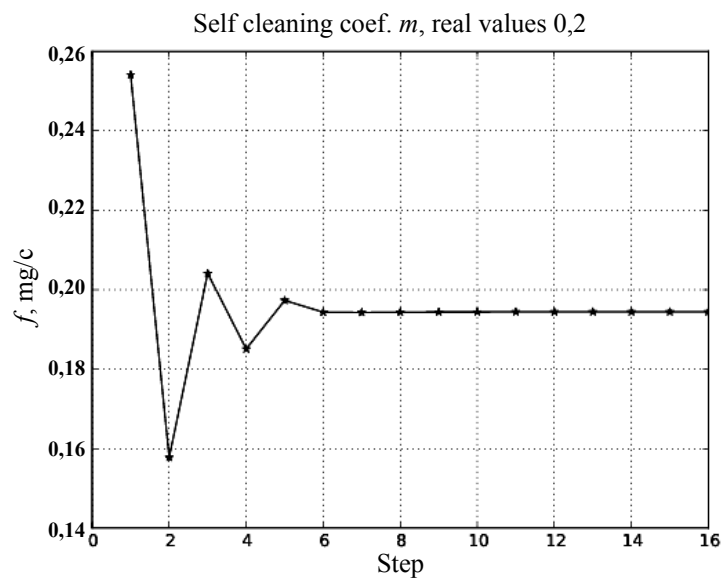


Рис. 2. Оцінки параметра самоочищення

Залежність функціонала J від кроку градієнтної процедури показано на рис. 3.

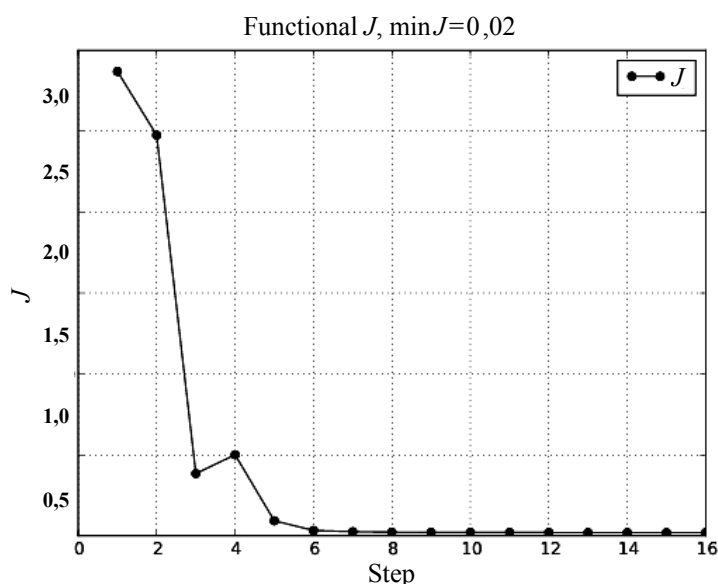


Рис. 3. Оцінки параметра самоочищення прикладу

В експерименті використовувалась гібридна модифікація МД4. Середній час виконання одного кроку на графічному процесорі Nvidia C1060 становить близько 18 с, загальний час моделювання — 4 хв.

ВИСНОВКИ

Запропоновано метод ідентифікації інтенсивності джерел у процесах забруднення атмосфери хімічно взаємодійними домішками з урахуванням аномальних фізичних властивостей явища самоочищення з досягненням стану процесу (концентрації забруднювальної домішки) граничного значення. Показано можливість застосування гібридних високопродуктивних обчислювальних систем на базі графічних прискорювачів архітектури Nvidia CUDA, що відрізняється від оригінального методу Д4 меншими на 30% вимогами до оперативної пам'яті та в 12 разів вищою продуктивністю порівняно з обчислювальною реалізацією без використання прискорювачів.

Подальші напрями досліджень пов'язані з розширенням запропонованих методів для прискорювачів відмінної від CUDA архітектури.

ЛІТЕРАТУРА

1. Anzt H. On the Performance and Energy Efficiency of Sparse Linear Algebra on GPU / H. Anzt, S. Tomov, J. Dongarra // International Journal of High Performance Computing. — 2017. — DOI:10.1177/1094342016672081.
2. Green500. — Available at: <https://www.top500.org/green500/>
3. Anzt H. Acceleration of GPU-based Krylov solvers via data transfer reduction / H. Anzt, S. Tomov, P. Luszczek, W. Sawyer, J. Dongarra // International Journal of High Performance Computing.

- of High Performance Computing Applications. — 29. — 3. — 2015. — P. 366–383.
4. *Згуровский М.З.* Анализ и управление односторонними физическими процессами / М.З. Згуровский, А.Н. Новиков. — К.: Наук. думка, 1996. — С. 328.
 5. *Новиков А.Н.* О реализации одного класса вариационных неравенств / А.Н. Новиков // Электронное моделирование. — 1994. — 1. — С. 39–45.
 6. *Zlatev Z.* Computational and numerical challenges in environmental modelling / Z. Zlatev, I. Dimov. — Oxford: Elsevier, 2006. — P. 373.
 7. *UNI-DEM.* — Available at: <http://www.dmu.dk/AtmosphericEnvironment/DEM/>
 8. *Азиз Х.* Математическое моделирование пластовых систем / Х. Азиз, Э. Сеттари. — Пер. с англ. — М.: Недра, 1982. — 407 с.
 9. *Saad Y.* Iterative Methods for Sparse Linear Systems, 2nd edition / Y. Saad. — PA: SIAM, 2003. — 520 p.
 10. *Ільїн М.І.* Модифікація методу обчислювальної реалізації крайових задач на основі D4 декомпозиції для гібридних систем на базі графічних процесорів / М.І. Ільїн // Вісн. НТУУ «КПІ»: Інформатика, управління та обчислювальна техніка. — 2017. — С. 63-67.
 11. *cuBLAS.* — Available at: <https://developer.nvidia.com/cublas>.
 12. *CUSP.* — Available at: <https://developer.nvidia.com/cusp>.

Надійшла 30.06.2017

ОСОБЛИВОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ СЕРВІС-ОРІЄНТОВАНИХ ДОДАТКІВ У ХМАРІ

О.О. ПЕТРЕНКО

Анотація: Найбільший європейський проект зі створення Європейської відкритої науково-дослідницької хмари (European Open Science Cloud for Research, EOSC), що розпочався в 2017 р. і базується на сервіс-орієнтованому підході, мотивує дослідження технологій розміщення сервіс-орієнтованих структур (SOA) прикладних додатків у хмарі. Досліджено базові відмінності традиційних SOA першого покоління (на основі веб-сервісів з уніфікованими протоколами зв'язку) і хмарних SOA нового покоління (на основі мікросервісів з контейнерами), які необхідно враховувати під час переміщення SOA застосувань у хмару.

Ключові слова: SOA, мікросервіс, контейнер, хмара, API, ESB, Workflows, EOSC.

ВСТУП

Підвищення складності сучасних інформаційних систем, включаючи ґрид (хмарні) інфраструктури, зумовило поширення модульного підходу до розроблення їх програмного забезпечення з використанням стандартизованих по можливості інтерфейсів між частинами, як це передбачено концепцією SOA. Ця архітектура має вигляд набору сервісів і процесів, які можна комбінувати, а також змінювати з часом відповідно до змін вимог за допомогою планувальників потоку завдань (workflows). У широкому сенсі SOA — це підхід до розроблення додатків, відповідно до якого додаток розщеплюється на окремі частини. Ці частини, як правило, розподілені по всій системі і спілкуються одна з одною через мережу. Функціональність SOA найпростіше реалізується за веб-сервісами (службовими) з використанням стандартів *WSDL* (Web Services Description Language) і *SOAP* (Simple Object Access Protocol) для опису інтерфейсів та формату повідомлень, що приймаються або посилаються [1–3]. Для забезпечення комунікації та інтеграції великомасштабних гетерогенних прикладних процесів найбільш зручним є використання сервісної шини підприємства *ESB* (Enterprise Service Bus), яка діє як проміжний шар (або посередник) і використовується для інтеграції, оркестровки, маршрутизації, моніторингу оброблення подій і кореляції ділової активності [5]. Веб-сервіси — це технологічні специфікації, тоді як SOA є принципом проектування архітектури програмних систем, а ESB — архітектурним шаблоном.

Додатки, які мають бути розміщеними в хмарі у зв'язку зі створенням Європейської відкритої науково-дослідницької хмари EOS [6], значно змінюють традиційні правила, за якими побудовано SOA першого покоління. Щоб максимізувати переваги хмарних технологій завдяки використанню віртуалізації апаратних і загальносистемних ресурсів, необхідно змінити

моделі сервісних додатків і оптимізувати хмару відповідно до цих змін. Починаючи з 2017 р., **мікросервіси** в поєднанні з **контейнерами** дозволили пришвидшити розроблення сервісних хмарних додатків і підвищити ефективність їх розгортання; забезпечити переміщення сервісів і їх перезапуск в умовах відмови, а також масштабування сервісів зі зміною навантаження [7].

Мікросервіси є додатками з однією функцією, як правило, невеликими за розміром, набагато меншими, ніж традиційні компоненти SOA програмних додатків, і доступними за допомогою простих *RESTful HTTP* або *JSON* інтерфейсів. Це ідеальний варіант, особливо для мобільних пристроїв та інтернету речей (IoT), двох з основних джерел і драйверів для мікросервісів. **API Swagger**, імовірно, стає стандартом за замовчуванням для визначення, реалізації, виявлення і тестування REST сервісів.

Контейнер (докер) є програмним забезпеченням для автоматизації розгортання і керування додатками в середовищі віртуалізації на рівні операційної системи (ОС). Він дозволяє «упакувати» додаток з усім його оточенням і залежностями в контейнер, який може бути перенесений на будь-яку Linux-систему, а також надає середовище для керування контейнерами. Контейнеризація, по суті, реалізується на рівні віртуалізації ОС (на відміну від віртуальних машин), кожна з яких оснащена повною вбудованою ОС). Кілька контейнерів можуть бути розміщені в одній віртуальній машині. Контейнери та мікросервіси не одне й те саме. Мікросервіс може працювати в контейнері, але він також може працювати і на виділеній віртуальній машині. Проте контейнери є надійним способом розроблення і розгортання мікросервісів, згрупованих в певні композиції, а інструменти і платформи для запуску контейнерів є надійним способом для керування мікросервісними додатками.

У роботі наведено результати досліджень базових технологій і напрацювань хмарних SOA, розглянуто мікросервіси і API, контейнери і SOA, а також описано дійсний стан підтримання сервісного забезпечення європейської відкритої наукової хмари і сформовано висновки та передбачення.

МІКРОСЕРВІСИ ТА API

Нині розпочалася епоха мікросервісів. Сервіси реалізують обмежений набір функцій, вони розробляються, розгортаються і масштабуються незалежно, мають власний життєвий цикл, не ставлять жодних умов до засобів їх опису або моделювання (наприклад, форми веб-сервісів). Як результат менше часу витрачається на досягнення результатів і підвищення гнучкості.

Крім переваг мікросервісів, вони створюють також деякі складності, а саме: потребують інтеграції, засобів автоматизації розгортання і конфігурації, реєстрації та моніторингу, додають значно збільшеного обсягу комунікаційних процедур.

Мікросервісний архітектурний стиль являє собою підхід до розроблення єдиного додатка як набору невеликих мікросервісів, кожний з яких працює у власному процесі і спілкується з іншими через сервісний шлюз **API Gateway** за допомогою HTTP ресурсів API. Кожен мікросервіс зазвичай розташований в окремій віртуальній машині або Docker-контейнері для забезпечення необхідної ізоляції і самостійно розгортається за допомогою повні-

стю автоматизованого механізму розгортання. Мікросервіси можуть бути написані різними мовами програмування і використовувати різні типи технологій зберігання даних. Щоб збільшити доступність до них, можна використати кілька екземплярів мікросервісу разом з балансувальником навантаження. У цій ситуації кожен мікросервіс матиме власну базу даних або можна зробити всі екземпляри мікросервісу одного типу, зв'язаного із загальною базою даних. Мікросервіси зберігають свій внутрішній стан у власних базах даних. Для зміни мікросервісу може знадобитися оновлення схеми бази даних: таблиці мають бути оновлені для нової схеми.

Є два можливі способи організації взаємодії клієнта з цим мікросервісом: прямий зв'язок клієнт–мікросервіс і зв'язок через API Gateway (рис. 1). У першому випадку (рис. 1, а) клієнт зв'язується з кожним мікросервісом окремо, тобто клієнт має бути запрограмований на реалізацію індивідуального механізму зв'язку з кожним мікросервісом. Це може зробити програму клієнта більш громіздкою і складною в обслуговуванні. Такі процедури, як аутентифікація, моніторинг та інші також потрібно обробляти кожним мікросервісом окремо, підвищуючи їх складність. Оновлення API мікросервісу потребує поновлення клієнтської програми та підтримання синхронізації між API. Оскільки кожен мікросервіс має бути оприлюднений, то ускладнюється підтримання безпеки.

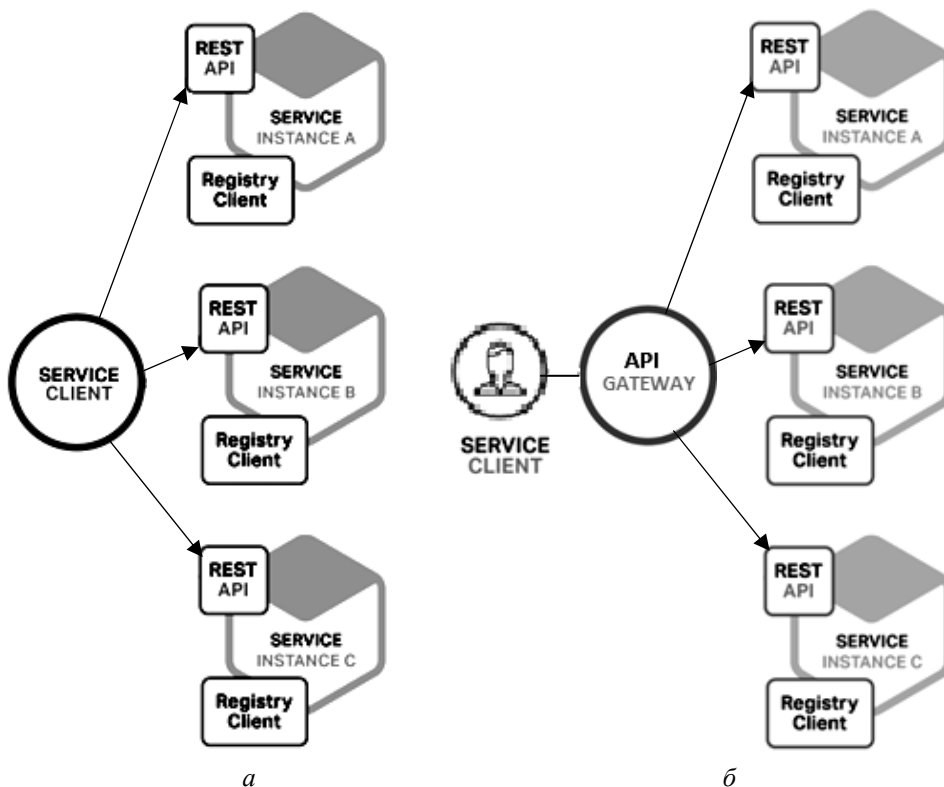


Рис. 1. Взаємодія клієнта з мікросервісом: пряма (а) і через API Gateway (б)

У другому випадку (рис. 1, б) API шлюз є єдиною точкою входу в систему, побудовану на базі мікросервісів. Замість того, щоб клієнт відправляв запити кожному мікросервісу, він спілкується з API Gateway. API шлюз, у свою чергу, переформовує і пересилає кожен запит на відповідний мікро-

сервіс та повертає його відповідь клієнту. Використання цього підходу дозволяє зробити публічно відкритим тільки API шлюз.

API керування стає важливим у багатьох галузях, незалежно від того, чи то комунікації бізнес для бізнесу (B2B), чи бізнес для клієнта (B2C). Широко відомі такі засоби API керування: *TIBCO API Exchange, IBM, Apigee, 3scale, WSO2, MuleSoft, Mashery, Layer 7, Vordel* [10]. Для API потрібні складні портали, на яких розробники додатків могли би знаходити й експериментувати з цими програмними інтерфейсами. Оскільки програмні інтерфейси виставляються публічно, то шлюзи, через які надається доступ, повинні забезпечувати найвищий рівень безпеки.

Сервісний шлюз (service gateway) використовується для забезпечення безпеки, дотримання політик, подання мікросервісів через API зовнішнім споживачам і статичного оброблення відповідей. З ним зв'язані засоби, побудовані для аутентифікації, моніторингу, балансування навантаження, кешування, формування і керування запитами, а також інтеграції, оркестровки, маршрутизації, моніторингу, оброблення і кореляції подій, ділової активності. Можна назвати ці засоби псевдо-ESB, або платформою інтеграції чи мікросервісною платформою. Наявність шлюзу API дозволяє кожному мікросервісу використовувати механізм зв'язку, який підходить до нього, без внесення будь-яких змін до клієнта. Різні механізми зв'язку можуть бути змішані і підібрані для мікросервісів відповідно до вимог його функціональності, наприклад, для синхронного зв'язку «один-до-одного» чи асинхронного зв'язку «один-до-багатьох».

Сервісний шлюз керує сервісами інтеграції (побудованими за допомогою псевдо-ESB), прикладними сервісами (побудованими за допомогою псевдо-ESB або будь-якої іншої технології), а також зовнішніми хмарними сервісами (не важливо, як вони побудовані, важливо, що є домовленість про постачання сервісів).

Щоб корелювати події, які відбуваються в різних мікросервісах, необхідно зберігати ці події в пам'яті, зробити їх видимими в режимі моніторингу в реальному часі, доступними для аналітики та активних прогнозованих дій. Підтримувати синхронізацію даних між мікросервісами стає набагато складніше у випадку мікросервісних SOA додатків, оскільки кожен мікросервіс має власну базу даних, яка може бути доступна або модифікована тільки через його API, тобто кінцеву точку. Для вирішення цієї проблеми можна використати подієво-керовану архітектуру [4], у якій мікросервіс публікує подію, коли відбувається подія, наприклад, коли він оновлює запис у базі даних. Інші мікросервіси підписуються на ці події. Коли мікросервіс отримує інформацію про подію, він може оновлювати відповідні записи у власній базі даних, що може викликати появу більшої кількості подій, які публікуються і споживаються іншими сервісами.

Подіями можна керувати через використання:

- черг повідомлень (messaging queues), таких як RabbitMQ або ZeroMQ;
- бази даних як проміжного шару між сервісами, коли один сервіс створює і записує подію в базу даних. Інші сервіси постійно запитують цю базу даних і починають діяти, коли виявляють запис про подію.

Варто відзначити, що подієво-орієнтована архітектура при переході до мікросервісів стає базовим типом архітектури додатків на відміну від традиційних SOA [4], що означає більш високу складність таких додатків. Це призводить до значного зростання комунікаційного навантаження порівняно з транзакціями в пам'яті традиційних додатків. Мікросервісам потрібна така мова опису інтерфейсу, щоб за її допомогою можна було легко реалізовувати клієнтів, з одного боку, а з другого, була типізованою звичною мовою (Swagger, proto, WSDL). Навіть якщо мікросервіси розробляються за різними технологіями (наприклад, мов Java, Scala, Python, або графічного інструментарію), всі вони керуватимуться і контролюватимуться за допомогою єдиного призначеного для користувача інтерфейсу.

Перехід на контейнерне керування сервісами за технологією API є по суті альтернативною реалізацією сервісної шини підприємства, що не тільки спрощує виклик сервісів додатками (або їх частинами), але й допомагає їм передавати дані і поширювати повідомлення про події з позицій оброблення складних подій.

КОНТЕЙНЕРИ І SOA

Контейнери, імовірно, є найбільш швидко зростаючою і найбільш захопливою галуззю розвитку віртуалізації і хмарних обчислень. Зв'язок між контейнерами та мікросервісами не є простим. Контейнери не потрібні для розгортання мікросервісів, але водночас мікросервіси потрібні для обґрунтування доцільності використання контейнера. Мікросервіси є одним зі способів підвищення маневреності додатків і повторного використання коду. Контейнери — форма віртуалізації, яка дозволяє уникнути дублювання ОС в машинному образі, забезпечуючи загальну платформу, яка поділяється між всіма компонентами додатка (рис. 2) [8].

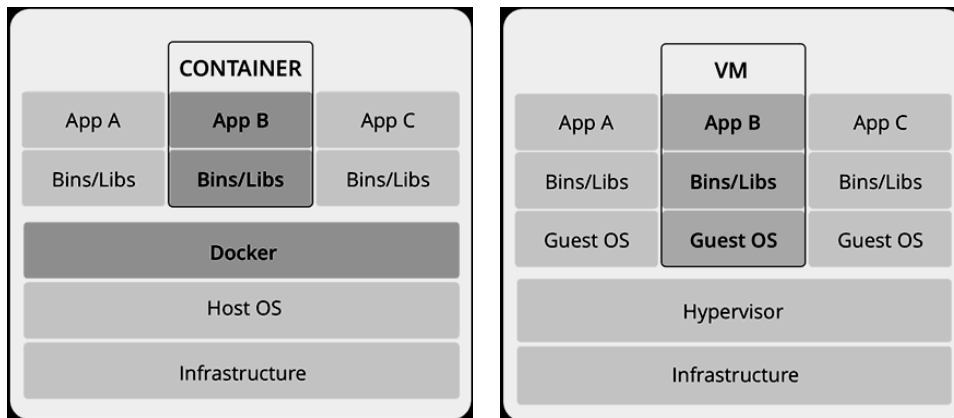


Рис. 2. Порівняння структур контейнерів і віртуальних машин [8]

Усунення дублювання цих великих програмних елементів дозволяє набагато більшій кількості мікросервісів працювати на одному сервері: від п'яти до десяти разів більше, ніж у звичайних провадженнях. Деякі користувачі повідомляють, що вони можуть запускати мікросервіси з контейнерами в 30 разів більшу кількість порівняно з кількістю віртуальних машин.

Мікросервіси також розгортаються швидше в контейнерах, ніж на віртуальних машинах. Це може бути дуже корисним під час горизонтального масштабування сервісів зі зміною навантаження або перерозподілу мікросервісів у зв'язку з відмовою мережевого сервера. Якщо кожен мікросервіс розмістити в окремій віртуальній машині з незалежною ОС, то витратиться багато пам'яті й інших ресурсів.

Продукція фірми Docker домінує на ринку, задовольняючи на 40% існуючий попит. Google давно використовує контейнери. Компанія є одним з основних вкладників у різні контейнеро-орієнтовані проекти з відкритим вихідним кодом, включаючи *Kubernetes orchestration* і *Google Container Engine*, що функціонують у Google Cloud Platform [11]. Microsoft підтримує контейнеризацію за допомогою *Windows Server Containers*, що дозволяє спільне використання ядра ОС між хостом і контейнерами. *Hyper-V* контейнери розширюють цю послугу, запускаючи кожен контейнер в оптимізованій віртуальній машині. Для хмари є також *Azure Container Service (ACS)*, розроблений спільно з Docker, який може керувати підтриманням інших інструментів оркестровки, таких як Kubernetes. Клієнти AWS можуть розгорнути контейнери на своїй EC2 платформі, забезпечуючи керування кластерами і планування двигуном Docker за допомогою *EC2 Container Service (ECS)*. Ця можливість підтримується *EC2 Container Registry (ECR)* шляхом зберігання. Компанія VMware випустила *vSphere Integrated Containers* для перетворення віртуальних машин у Docker-подібні контейнери для створення платформи відкритого керування системою сервісів для реалізації бізнес-процесів у середовищі PhotonOS. Інші приклади включають IBM контейнери для *Bluemix*, *Rackspace Carina* (на основі OpenStack Magnum убудоване підтримання для контейнерів та оркестровка). Ще є одна ініціатива з відкритим вихідним кодом Deis, платформа-як-сервіс (PaaS) на основі CoreOS. Слід визнати, що ринок контейнеризації стрімко змінюється [12].

Hyper-V контейнери пропонують новий спосіб реалізації SOA, який є більш ефективним у багатьох випадках. За допомогою контейнера можна запустити кожен сервіс (частину програми) всередині контейнера і далі використовувати контейнерний оркестрант (orchestrator) для керування зв'язком між контейнерами та гарантувати, що кожний сервіс усередині програми працює правильно.

Контейнери є кращими будівельними блоками для SOA, ніж традиційні веб-сервіси через такі їх якості [8]:

- *Контейнери легко переміщуються між хостами (хмарами, вузлами).* У використанні традиційних SOA сервіси залежать від конкретних умов хостів. Наприклад, якщо мережевий файл файлової системи встановлюється на сервері CentOS Linux для надання сервісу зберігання даних для SOA, зміна хоста NFS на сервер Ubuntu потребує значних зусиль. На відміну від цього переміщення контейнера від одного хоста до іншого значно простіше, оскільки контейнерне середовище хоста завжди однакове.

- *Контейнери мають високу масштабованість.* Оскільки контейнери додатків можуть легко переміщуватися між вузлами, контейнерна інфраструктура також легко масштабується. Якщо необхідні додаткові екземпляри певного сервісу, то більше контейнерів можуть бути розгорнуті. Масштабування в традиційних розподілених системах не реалізується так просто.

- *Контейнери легко оновлюються.* Щоб оновити додаток, який працює в контейнері, треба відновити зображення контейнера, на якому заснований

додаток, а потім перезапустити контейнер. Цей процес є більш простим і безвідмовним порівняно з традиційним оновленням сервісу в розподіленій системі, тому нескладно відмінити зміни, якщо це необхідно.

- *Контейнери можуть бути використані повторно.* Однією з основних цілей SOA є повторне використання сервісів, їх розділення і зменшення кількості надлишкових сервісів. Контейнери легко використовувати повторно, оскільки зображення контейнерів можна скопіювати і контейнери можуть швидко переміщатися між вузлами.

- *Контейнери спричиняють менше навантаження.* Контейнери забезпечують гнучкість роботи віртуальних сервісів усередині програмного середовища без необхідності запуску повної віртуальної машини для розміщення сервісів. Замість цього контейнери поділяють обчислювальні ресурси з хостом контейнера. Це означає, що є переваги традиційних програмно-орієнтованих сервісів без істотних накладних витрат ресурсів. Для розроблення і впровадження нових додатків вибираються контейнери для їх розміщення. Необхідно переконатися, що додатки написані для роботи всередині контейнерів, потім установити Docker, розгорнути додатки і використовувати контейнерний оркестрант для керування ними.

Сервер забезпечує повну ізоляцію контейнерів, що запускаються на вузлі, *на рівні файлової системи* (у кожного контейнера власна коренева файлова система), *на рівні процесів* (процеси мають доступ тільки до власної файлової системи контейнера, а ресурси розділені засобами), *на рівні мережі* (кожен контейнер має доступ тільки до цього мережевого простору імен і до відповідних віртуальних мережевих інтерфейсів).

Набір клієнтських засобів дозволяє запускати процеси в нових контейнерах, зупиняти і запускати контейнери, припиняти та відновлювати процеси в контейнерах. Серія команд дає змогу здійснювати моніторинг запущених процесів. Нові зображення контейнера можна створювати зі спеціального сценарного файлу, записувати всі зміни, зроблені в контейнері, в нове зображення. Крім того, в інтерфейсі командного рядка вбудовані можливості взаємодії з публічним репозиторієм Docker Hub, у якому розміщені попередньо зібрані зображення контейнерів [12]. Кілька контейнерів розгортаються у кластерах, багато з яких попередньо вбудовуються як компоненти, які можуть бути розміщені поруч для створення зображення додатків.

Є чотири положення, які необхідно враховувати:

1. Операційні системи контейнерів. Навіть якщо контейнери не мають вбудованих ОС, одна спільна ОС, як і раніше, потрібна. Будь-яка стандартна ОС буде працювати, у тому числі Linux або Windows. Проте фактичні потрібні ресурси ОС, як правило, обмежені, тому ОС може бути багато. Це спонукало до розроблення спеціальних контейнерних ОС, таких як Rancher OS, CoreOS, VMware Photon, Ubuntu Snappy, Red Hat Project Atomic і Microsoft Nano сервер [13].

2. Двигун (рушій) контейнера. Тут домінує Docker, але є конкуренти, такі як CoreOS Rocket (Rkt). Двигуни поставляються з допоміжними засобами, наприклад, Docker Toolbox, який спрощує налаштування Docker для розробників, і Docker Trusted Registry для зображення керування.

3. Оркестровка контейнерів. Контейнери повинні бути розумно згруповані для забезпечення функціонування додатків, і це потребує оркестровки.

Двигуни виконують основне підтримання для визначення простих мульти-контейнерних застосувань, наприклад, Docker Compose. Проте повна оркестровка включає в себе планування того, як і коли контейнери повинні працювати, керування кластером і надання додаткових ресурсів, часто інших хостів. Інструменти оркестровки включають Docker Swarm, Google Kubernetes і Apache Mesos [14]. Можна використовувати інструменти конфігурації загального призначення, такі як Chef and Puppet (обидва з відкритим вихідним кодом) або комерційні пропозиції, такі як HashiCorp Atlas або Electric Cloud ElectricFlow.

4. Переміщення додатка з однієї хмарної платформи на іншу. У цьому випадку постачальники програмного забезпечення повинні послідовно оновити свої додатки для розгортання їх у користувачів. Потрібні контейнери будуть копіюватися і додатки будуватимуться з цих контейнерів, оскільки повне робоче середовище відтворене, у тому числі і самі контейнери, баланси навантаження, мережі і т. ін. У 2015 р. компанія Docker випустила *Docker Networking* для включення віртуальних з'єднань між контейнерами. Англійська фірма *Weaveworks* також створила *WeaveNet*, а *Micro-Software-Calico* збільшує безпеку контейнерної мережі через динамічну побудову firewall (брандмауерів). Docker теж розробляє нові інструменти для підтримання життєвого циклу контейнерних додатків. *Docker Universal Control Plane (UCP)* забезпечує можливості створення, розгортання та керування додатками на вимогу [15].

СУЧАСНИЙ СТАН СЕРВІСНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ EOSC

Із 2017 р. розпочався справжній бум зі створення SOA додатків другого покоління. Найкращими підходами було б розбиття існуючих додатків (legacy) на мікросервіси відповідно до потреб науки чи створення абсолютно нових сервісів (рис. 3).

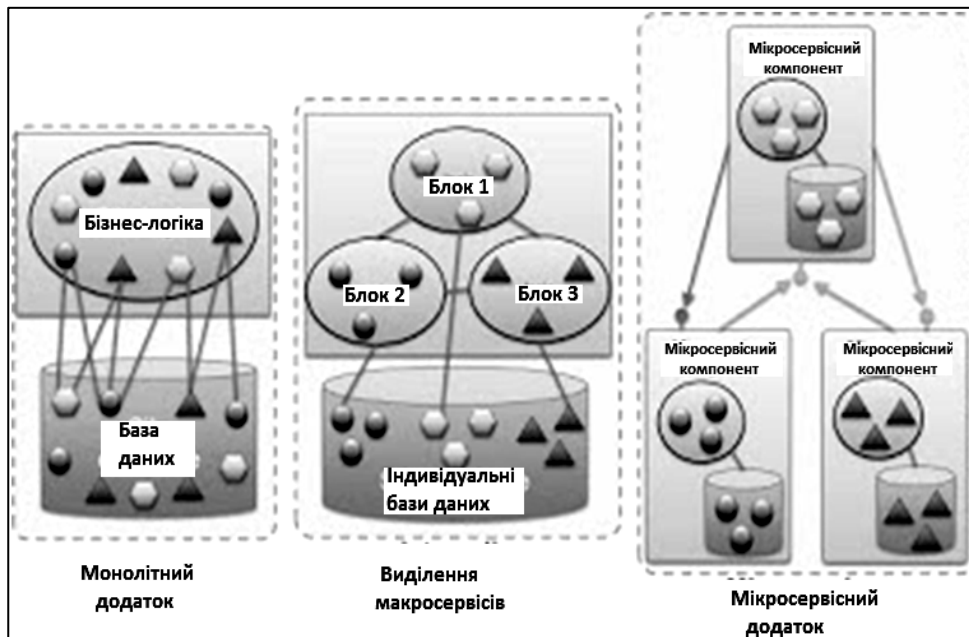


Рис. 3. Розкладання монолітних прикладних додатків на компоненти

Згідно з планами Європейського Союзу в 2020 р. має бути створена Європейська відкрита наукова хмара (EOSC) як екосистема сервісів, які надаються різними постачальниками сервісів, для обслуговування 1,7 млн учених і 80 млн професіоналів з різних галузей науки і технологій (рис. 4).

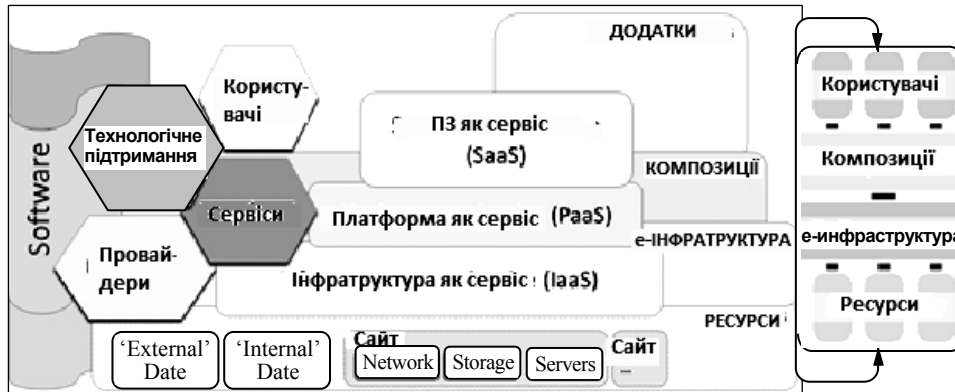


Рис. 4. Європейська відкрита наукова хмара [16]

Жорсткі терміни введення її в дію змушують відомі європейські організації та інфраструктури (EUDAT, CERN, OpenAIRE, GÉANT, EGI, ESFRI, e-IRG, ESA, INDIGO та ін.) базуватися на своїх існуючих монолітних програмних рішеннях, перетворюючи їх на декілька десятків *макросервісів* (замість мікросервісів). Тому, розміщуючи такі макросервіси в контейнери, тимчасово відмовляються від віртуалізації ОС і вимушено в кожній контейнер включають повний екземпляр ОС і власну базу даних. Приклади сервісів, які запропонували EGI, INDIGO, EUDAT, наведено в табл.1–3 [17–19].

Таблиця 1. EGI (European Grid Infrastructure) сервіси [17]

№ з/п	Назва сервісу	Сервіс забезпечення або підтримання
		Обчислювальні сервіси
1	2	3
1	Cloud Compute	Виконання обчислень і оброблення даних. Підтримання тривалих сервісів (наприклад, веб-сервісів або баз даних). Створення середовища розроблення і виконання тестування. Вибір конфігурації віртуальної машини відповідно до вимог користувача. Керування ресурсами хмари на гнучкій основі з комплексним моніторингом і можливостями обліку
2	Cloud Container Compute	Підготовка додатка на вимогу. Середовище для максимального продуктивності. Стандартний інтерфейс для розгортання сервісів від кількох постачальників. Виконання Docker контейнерів у віртуальному середовищі. Сумісність (interoperable) і прозорість. Усунення конфліктів між середовищами розроблення та експлуатації

Продовження табл. 1

1	2	3
3	High-Throughput Compute	Доступ до високоякісних обчислювальних ресурсів. Інтегровані засоби моніторингу та обліку для надання інформації про доступність і споживання ресурсів. Інструменти для робочого навантаження і керування даними для всіх обчислювальних задач. Велика кількість перероблених завдань протягом тривалого періоду часу
Сервіси зберігання		
4	Online Storage	Призначення глобальних ідентифікаторів файлам. Доступ до високомасштабованих сховищ у будь-якій точці світу. Контроль за даними, що використовуються зумисно. Організація даних з використанням гнучкої ієрархічної структури
5	Data Transfer	Сумісність із надвеликими файлами. Здатність оброблення великих обсягів файлів. Підтримання процесу передавання з автоматичною повторною спробою
6	Archive Storage	Збереження даних на тривалий термін. Збереження великої кількості даних. Звільнення власного інтернет-сховища
Сервіси навчання і тренувань		
7	FitSMTraining	Збільшення досвіду в галузі керування ІТ-сервісами. Підвищення професійного профілю визнаної сертифікації
8	Training Infrastructure	Цільові конкретні курси та додана вартість для наукових співтовариств. Легке розгортання курсів і їх повторне використання

Таблиця 2. INDIGO (INtegrating Distributed data Infrastructures for Global ExpLOitation) сервіси [18]

№ з/п	Назва сервісу	Сервіс забезпечення або підтримання
1	2	3
1	IAM (Identity and Access Management)	Реєстрація сервісу. Менеджмент спільних рішень VO (віртуальних організацій). Постачання сертифікованих OIDC / сервер авторизації OAuth. Надання APIs, базованих на стандарті SCIM. Забезпечення ідентифікації користувачів і надання інформації про політики сервісам для прийняття послідовних рішень щодо авторизації в умовах розподілених сервісів
2	Dynpart (Partition Director Service for Batch and Cloud resources)	Керування гібридним центром оброблення даних, який може надавати сервіси як для пакетного оброблення даних, так і для хмарно розподілених сервісів
3	Cloud Provider Ranker	Автономний WEB REST сервіс, який виконує ранжування постачальників хмар за пріоритетами користувачів з вибору ресурсів. Використання двигуна системи керування бізнес-правилами (BRMS, Business Rules Management System)

1	2	3
5	Orchestrator (PaaS Orchestrator)	Основний компонент прошарку PaaS. Збирання запитів на розгортання з прошарку (рівня) програмного забезпечення. Координація ресурсів або сервісів розгортання динамічних Mesos кластерів або безпосередньо на базі IaaS платформ
6	udocker (Userspace Container Support)	Інструмент для виконання простих контейнерів Docker у просторі користувача. Можливість завантаження і виконання повністю кінцевим користувачем. <i>Bdocker</i> і <i>udocker</i> : два взаємодоповнювальні підходи для виконання контейнерів в пакетних системах оброблення даних
7	Ophidia (Data Mining and Analytics for eScience Server)	Фреймворк (структура, яка підтримує аналіз даних, інтенсивно використовуючи паралельні методи обчислень і смарт-методи розподілу даних. Використання ієрархічної організації зберігання для поділу і розподілу багатовимірних масивів наукових даних на декілька вузлів
8	IM (Infrastructure Manager)	Розгортання складних і індивідуальних віртуальних ресурсів на різних платформах IaaS хмара (таких як AWS, OpenStack). Надання оркестранту обчислювальних ресурсів можливості використання стандартних мов OASIS (наприклад, протоколу TOSCA)
9	Kubernetes Monitoring Accounting	Забезпечення основних функціональних можливостей та інструментів, що підтримують роботу всіх сервісів PaaS, доступних в інфраструктурі
10	fgAPIServer, fgPortal-Setup, fgTools (Future Gateways (Programmable Scientific Portal))	Програмований інтерфейс з RESTful API сервера: містить набір програмних компонентів, здатних створити або допомогти існуючим веб-порталам стати первісними шлюзами; забезпечує доступ до розподілених обчислювальних ресурсів, таким як ґрид, хмари і високопродуктивні обчислення
11	indigoclient, indigoKepler (INDIGO Plug-ins for scientific workflow systems)	Система керування робочими потоками (Workflow). Забезпечення інфраструктури установленням, запуском і моніторингом певної послідовності завдань, що створює робочий потік з використанням ресурсів та сервісів, наданих постачальниками й іншими спільнотами
12	NOW (Network Orchestration Wrappercomponent for OpenNebula-based clouds).	Приймання запитів для маніпуляції віртуальної мережі. Глобальна попередня авторизація і виконання запитів через API OpenNebula
13	Orchent (the orchestrator client)	Командний рядок додатка для керування його розгортанням і вибору ресурсів (оркестратор) у швидкий і простий спосіб
14	Mobile Toolkit	Надання набору засобів розроблення програмного забезпечення (SDK, Software Development Kit), необхідного для створення мобільних додатків, здатних експлуатувати сервіси INDIGO PaaS. Надання можливості менеджерам і розробникам взаємодіяти з усіма сервісами і ресурсами з використанням мобільних пристроїв. Інструментарій, призначений для Android

Таблиця 3. EUDAT (European Data Infrastructure) сервіси [19]

№ з/п	Назва сервісу	Сервіс забезпечення або підтримання
1	B2DROP (Sync and Exchange Research Data)	Рішення для персональної хмари, засноване в довіреному EUDAT CDI домені для зберігання та спільного використання наборів даних на початку дослідження життєвого циклу даних
2	B2SHARE (Store and Share Research Data)	Зручний, надійний сервіс, що заслуговує довіри дослідницьких спільнот, для зберігання та обміну дрібномасштабними обсягами даних, що надходять з різних контекстів
3	B2FIND (Find Research Data)	Простий, зручний портал для пошуку колекцій наукових даних, що зберігаються в EUDAT центрах оброблення даних та інших сховищах даних
4	B2SAFE (Replicate Research Data Safely)	Надійний, безпечний і доступний для керування даними і їх реплікаціями сервісів, що дозволяє спільнотам і відомчим репозитаріям дублювати та зберігати наукові дані у вузлах EUDAT
5	B2STAGE (Get Data to Computation)	Надійний, ефективний, простий у використанні сервіс для переміщення великих обсягів наукових даних між вузлами EUDAT і робочим простором обчислювальних систем високої продуктивності
6	B2ACCESS (Identity and Authorisation)	Підтримання декількох методів аутентифікації ідентичності користувачів (OpenID, SAML, x.509). Використання як первинного постачальника посвідчень; у разі потреби може бути інтегрований з EduGain і, отже, підтримувати ідентичність користувачів по всьому світу. Забезпечення унікальних ідентифікаторів EUDAT
7	B2HANDLE (Register your research data)	Забезпечення доступу до даних, довговічних посилань на дані і полегшення публікації даних

Відмінності наведених сервісів у різних реєстрах є істотними згідно з різними стандартами і фрейворками, які доступні для керування сервісами, а також через різні процеси керування портфелем сервісів у різних місцях е-інфраструктури на різних рівнях реалізації практики керування сервісами, відсутність стандартизованого способу визначення і опису сервісної е-інфраструктури сервісів, різні пропозиції сервісів від різних постачальників, що потенційно частково перебиваються.

Тому існує насущне завдання сьогодення, яке полягає в необхідності об'єднання існуючих сервісів хоч би у загальний каталог сервісів (не кажучи вже про загальний репозитарій). Роботи зі складання загального каталогу сервісів розпочато в межах проекту *eInfraCentral* зусиллями дев'яти організацій (січень 2017 – червень 2019) [20].

Життя (особливо потреби сервісного сектору економіки) потребує засобів створення хмарних мікросервісних систем і адаптації для цілей існуючого інструментарію провідних фірм (*ASP.NET*, *SAP Enterprise SOA*, *Oracle SOA Suite 12c*, *HP SOA Center* та ін.) і для створення мікросервісних реєстрів та забезпечення тим самим реалізації у хмарних SOA віртуалізації як серве-

рів, так і операційних систем [21–24]. Видається доцільним поєднати для цього веб-сервіси з контейнерними технологіями, що дає змогу збільшити розміри хмарних репозитаріїв сервісів (до кількох тисяч компонентів замість десятка тепер) і організації в них *автоматичних семантичних методів пошуку* (відкриття) необхідних сервісів (замість ручних, що практикуються в EOSC) [25].

ВИСНОВКИ

Ключ до успіху SOA лежить у повторному використанні існуючих ІТ-ресурсів, наприклад, успадкованих додатків. Однак хмарні SOA мають відмінності від SOA, побудованих на ізольованих е-інфраструктурах, передусім у використанні переваг віртуалізації як апаратних (серверів), так і програмних (ОС) ресурсів.

Натепер наявні два напрями: *орієнтація на потреби наукових спільнот*, мотивована початком створення з 2016 р. Європейської відкритої наукової хмари, і *орієнтація на потреби бізнесу*, зумовлена стрімким становленням сервісного сектору економіки. У першому випадку сервіси, необхідні для створення додатків, переважно вимушено формуються на базі успадкованих наукових застосувань. Таких макросервісів у реєстрах EGI, INDIGO, EUDAT, GIANT поки небагато, і користувач зможе в разі потреби їх знаходити досить просто. Утім тепер стоїть завдання складання з них хоч би каталогу. У другому випадку сервіси, необхідні для створення додатків, розробляються переважно самими користувачами за допомогою ефективного і різноманітного інструментарію провідних фірм, таких як Microsoft, Oracle, HP, SAP тощо. Сервіси, як правило, створюються у вигляді веб-сервісів із семантичним описом (повним або тільки анотованим), що дозволяє впровадити методи автоматичного відкриття необхідних сервісів у надвеликих за обсягом репозитаріях сервісів. Принаймні, веб-сервіси можна створювати і без розглянутого інструментарію провідних фірм, користуючись лише відкритими технологіями і мовами семантичного веб.

Для умов хмарного середовища найбільш притаманне з точки зору досягнення максимальної віртуалізації ресурсів використання мікросервісів і контейнерів для організації їх взаємодій. Тому видається *доцільним рекомендувати надалі (як для наукових, так бізнесових додатків) застосовувати веб-технології для формування та опису мікросервісів і їх композицій, а також контейнерне керування ними.*

ЛІТЕРАТУРА

1. *Maglio P.* Handbook of Service Science (Service Science: Research and Innovations in the Service Economy) / P. Maglio, C.A. Kieliszewski, J. Spohrer // Springer, NewYork, 2010. — 82 p.
2. *Service Oriented Architecture: SOA Features and Benefits.* — Available at: https://www.opengroup.org/soa/source-book/soa/soa_features.htm
3. *Петренко А.А.* Объекты и методы науки о сервисах / А.А. Петренко // Системні дослідження і інформаційні технології. — № 2. — 2015. — С. 75–83.
4. *Петренко О.О.* Порівняння типів архітектури систем сервісів / О.О. Петренко // Системні дослідження і інформаційні технології. — № 4. — 2015. — С. 48–62.

5. *Enterprise service bus*. — Available at: http://www.service-architecture.com/articles/web-services/enterprise_service_bus_esb.html
6. *Tiziana Ferrari*. EGI towards the European Open Science Cloud. — Available at: <https://indico.egi.eu/indico/event/3249/session/24/contribution/10>
7. *Ньюмен С.* Создание микросервисов / С. Ньюмен. — СПб.: Питер, 2016. — 304 с.
8. *Picking The Right Cloud Container Platform*. — Available at: <http://www.communicationstoday.co.in/images/reports/20170501-container-deployment-g6gc442244-report.pdf>
9. *Microservices and containers present a new deployment model in 2017*. — Available at: <http://searchmicroservices.techtarget.com/opinion/Microservices-and-containers-present-a-new-deployment-model-in-2017>
10. *Wilson Mar*. API Management Evaluation. — Available at: <https://wilsonmar.github.io/api-management-evaluation/>
11. *Containers as a Service: Comparing Providers and Evaluating the State of the Market*. — Available at: <http://sandhill.com/article/containers-as-a-service-comparing-providers-and-evaluating-the-state-of-the-market/>
12. *Repositories on Docker Hub*. — Available at: <https://docs.docker.com/docker-hub/repos/>
13. *Operating System Containers vs. Application Containers*. — Available at: <https://blog.risingstack.com/operating-system-containers-vs-application-containers/>
14. *Kubernetes is an open-source system for automating deployment, scaling, and management of containerized applications*. — Available at: <https://kubernetes.io/>
15. *Universal Control Plane overview*. — Available at: <https://docs.docker.com/datacenter/ucp/2.1/guides/>
16. *Realising the European Open Science Cloud*. — Available at: https://ec.europa.eu/research/openscience/pdf/realising_the_european_open_science_cloud_2016.pdf
17. *Online EGI Service Catalogue*. — Available at: <https://www.egi.eu/services/>
18. *INDIGO сервіси*. — Available at: <https://www.indigo-datacloud.eu/service-component>
19. *EUDAT site*. — Available at: www.eudat.eu
20. *eInfraCentral*. — Available at: <http://einfracentral.eu/>
21. *.NET Framework*. — Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/.NET_Framework
22. *Enterprise soa development handbook*. — Available at: <https://archive.sap.com/documents/2012/04/4735-02f9-2a10-b198-a888a056bb67/Enterprise%20SOA%20Development%20Handbook.pdf>
23. *Oracle SOA*. — Available at: <https://www.oracle.com/middleware/application-integration/products.html/>
24. *HP SOA Center: Concepts, Technology and Architecture*. — Available at: http://www.hp.com/hpinfo/analystrelations/wp_cloudcomputing_soa_capgemini_hp.pdf
25. *Петренко І.А.* Автоматизовані методи пошуку і відкриття необхідних сервісів / І.А. Петренко, О.О. Петренко // Вісник Університету «Україна», Серія «Інформатика, обчислювальна техніка та кібернетика». — №1(17). — 2015. — С. 55–64.
26. *Kunal Joshi*. Introduction to Microservices. Available at: <https://techblog.xavient.com/introduction-to-microservices/>

Надійшла 21.06.2017

ОЦЕНКА КОМПАНИИ НА ОСНОВЕ ДИСКОНТИРОВАННЫХ ФИНАНСОВЫХ ПОТОКОВ И ЕЕ ОСТАТОЧНОЙ СТОИМОСТИ В УСЛОВИЯХ НЕЧЕТКИХ ДАННЫХ

Ю.А. ЗАК

Аннотация. При использовании доходного метода оценки стоимости бизнеса ряд показателей объемов ожидаемых денежных потоков, значений коэффициентов дисконтирования, а также величины «дисконтируемого дохода» в каждый год эксплуатации и за весь прогнозируемый период, в течение которого инвестор предполагает владеть бизнесом, и остаточной стоимости активов представлены нечеткими множествами с функциями принадлежности прямоугольного, треугольного и трапециевидного типа. На основе методов fuzzy-арифметики и аппарата дискретных fuzzy-марковских цепей рассчитаны результирующие нечеткие множества, определяющие оценки стоимости бизнеса с позиций как конкретного инвестора, так и владельца бизнесом. В отличие от известных подходов введенные в работе диапазоны прогнозируемых обеими сторонами значений возможных рыночных стоимостей бизнеса обеспечивают допустимую каждой из сторон степень риска возможных потерь прибыли, решение вопросов целесообразности дальнейших переговоров и определение граничных значений стоимости для каждой из сторон.

Ключевые слова: стоимость покупки бизнеса, дисконтируемые денежные потоки, остаточные активы предприятия, fuzzy-арифметика, дискретные fuzzy-марковские цепи, эффективные диапазоны прогнозируемых объемов стоимости.

ВВЕДЕНИЕ

Широкое распространение среди методов оценки стоимости предприятия получил доходный метод на основе анализа дисконтированных денежных потоков в течение всего предполагаемого инвестором периода владения компанией и оценки стоимости ее остаточных активов в постпрогнозный период [1–7]. Доходный подход, который считается наиболее приемлемым с точки зрения инвестиционных мотивов, — это совокупность методов оценки стоимости объекта, основанных на определении текущей стоимости объекта имущества как совокупности ожидаемых доходов от его использования. При этом оцениваются будущие доходы от эксплуатации объекта на протяжении срока предполагаемого его использования. Дисконтирование — это удешевление будущих денег при приведении их к деньгам текущего периода. Этот метод предполагает оценку тех экономических выгод, которые

получает собственник от владения предприятием. В процессе такой оценки используется вся доступная на рынке информация без учета каких-либо благоприятных и неблагоприятных форс-мажорных и чрезвычайных обстоятельств.

Каждый инвестор имеет собственные планы развития и функционирования компании в планируемые им годы владения ею. Они связаны с его (или их) инвестиционными планами, планами расширения или реорганизации профиля ее работы, изменениями объемов производства, развитием рынка продаж, расширением коммерческих связей, изменением структуры основных фондов, модернизацией структуры менеджмента, изменением объемов интеллектуальной собственности и повышением имиджа на внутреннем и внешнем рынках. Поэтому стоимость предприятия для каждого инвестора является величиной субъективной. И в этих условиях прогнозируемые каждым инвестором денежные потоки связаны с существенной неопределенностью или размытостью полученных расчетами различных экспертов результатов. Это зависит от ряда факторов: изменения политической и экономической ситуации в стране и в мире, темпов инфляции, которые являются трудно предсказуемыми, уровнем изменения платежеспособности покупателей, конъюнктуры рынка, курсов национальных валют и т.п.

Количественная оценка всех выявленных рисков определяет величину возможных потерь в стоимостном измерении. Изменения упомянутых выше внешних факторов могут оказывать и положительное влияние на величины дисконтируемых денежных потоков и способствовать увеличению ожидаемых доходов в течение рассматриваемого периода владения бизнесом. Это происходит за счет снижения затрат на сырье, материалы, энергоресурсы, расширения рынка продаж и рабочей силы и т.п. В процессе расчета инвестор, руководствуясь планами развития и ведения бизнеса, беря во внимание мнения ряда экспертов, рассматривает возможные сценарии развития событий, определяет предполагаемые объемы ожидаемых денежных потоков и значения коэффициентов дисконтирования. На основе этих данных устанавливается либо наиболее вероятное, минимальное и максимальное значения ожидаемого объема «дисконтируемого дохода» за весь прогнозируемый период, в течение которого инвестор будет владеть компанией, либо некоторый диапазон возможных значений каждого из этих показателей. Кроме того, определяется расчетный диапазон суммарной стоимости всех остаточных активов в постпрогнозный период, определяемых стоимостью основных фондов, оборудования, применяемых технологий, реорганизацией рынка продаж, расширением коммерческих связей, модернизацией структуры менеджмента, интеллектуальной собственности и повышением имиджа на внутреннем и внешнем рынках. Расчетный диапазон суммарных значений всех этих величин и является для инвестора основанием для оценки степени риска, связанного с покупкой бизнеса, что может служить основанием для переговоров с его настоящим владельцем.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОЦЕНКИ СТОИМОСТИ БИЗНЕСА С ПОЗИЦИЙ ИНВЕСТОРА

На основе личных инвестиционных планов и представлений о функционировании предприятия в течение прогнозируемого периода инвестором осуществляется оценка ожидаемых доходов или годового оборотного капитала

компании, которые он может получить, владея этой компанией в течение прогнозируемых им лет. Оценка этих финансовых показателей производится с учетом фактора изменения стоимости денег во времени на основе выбора и применения нормы дисконтирования при определении денежных потоков или дохода за каждый планируемый инвестором используемый год. Кроме того, определяется текущая в каждом году стоимость всех будущих поступлений, а также рассчитывается величина ожидаемой стоимости всех активов этой компании в постпрогнозный период. Результатом выполненных расчетов является суммарная стоимость будущих денежных потоков и остаточная стоимость активов компании в постпрогнозный период за вычетом всех обязательств. Этот итоговый результат принимается за стоимость компании.

В рассматриваемых в литературе подходах прогнозируемые объемы денежных потоков и значения коэффициентов дисконтирования для каждого года прогнозируемого периода рассчитываются по известным методикам и являются одинаковыми для всех инвесторов с различными возможностями инвестирования и планами развития и реорганизации бизнеса.

В литературе [1–7] приведены различные формулы и методики расчетов свободных денежных потоков для каждого года прогнозируемого периода. Наиболее часто используются формулы

$$FCFF = EBIT(1 - T) + DA - \Delta WCR - Investment + Net borrowing, \quad (1)$$

где $FCFF$ — объем свободных денежных потоков; $EBIT$ — прибыль до вычета процентов и налога на прибыль; T — ставка налога на прибыль; DA — расходы, связанные с амортизацией; ΔWCR — изменения в требуемом рабочем капитале; $Investments$ — объем инвестиций; $Net borrowing$ — разница между полученными и погашенными кредитами/займами;

$$Equity\ value = \frac{(FCFF)_1}{(1 + R)^1} + \frac{(FCFF)_2}{(1 + R)^2} + \frac{(FCFF)_3}{(1 + R)^3} + \dots + \frac{(FCFF)_n}{(1 + R)^n}. \quad (2)$$

В формуле (2) приведена модель оценки компании.

На практике используют прогнозы на 5 или 10 лет. Предлагается также следующая двухстадийная модель оценки стоимости компании, которая содержит промежуточные денежные потоки и терминальную (остаточную) стоимость перечисленных выше ее активов:

$$Equity\ value = \sum_{t=1}^T \frac{(FCFF)_t}{(1 + R)^t} + Q. \quad (3)$$

В формулах (2), (3) $Equity\ value$ — оценка стоимости компании; $(FCFF)_t$ — объем свободных денежных потоков в t -й год прогнозируемого периода; $(1 + R)^t$ — коэффициент, учитывающий дисконтирование денежных средств в t -й год прогнозируемого периода; G — суммарная стоимость остаточных активов в постпрогнозный период; T — предполагаемое количество лет владения бизнесом.

Рассматриваемые диапазоны «дисконтируемого дохода» как за каждый год, так и за весь период владения бизнесом с учетом предполагаемых инвестиций и изменений структуры, технологии объемов производства, как и

суммы всех остаточных активов в постпрогнозный период с минимальными и максимальными их граничными значениями, не могут быть прогнозированы точно, а представлены экспертным советом инвестора — либо некоторой функцией распределения, либо fuzzy-множеством с функцией принадлежности прямоугольного, треугольного или трапециевидного вида. Такие нечеткие множества охватывают не только три, как наиболее часто в настоящее время предусматриваемые в расчетах, но и каждое из возможного диапазона значений, включая наиболее вероятное, пессимистическое и оптимистическое значения прогнозируемых величин. Математическая модель рассматриваемой задачи в случае, когда величины «дисконтируемого дохода» в каждый год эксплуатации и за весь прогнозируемый период, в течение которого инвестор предполагает владеть бизнесом, представлены некоторым распределением вероятностей, рассмотрена в работе автора [10].

В случае представления дисконтируемых денежных потоков нечеткими множествами оценка стоимости бизнеса осуществляется методами fuzzy-арифметики [8, 9], а также некоторым fuzzy-множеством, функция принадлежности которого более объективно отразит реальность получения определенных финансовых показателей.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗАДАЧИ

Для простоты изложения введем обозначения: F^t — некоторое нечеткое множество значений дисконтируемых денежных потоков $\frac{(FCFF)_t}{(1+R)^t}$, определенное в t -й год анализа прогнозируемых инвестором денежных потоков; E — нечеткое множество значений суммарной стоимости остаточных активов в постпрогнозный период.

Отметим, что если значения $FCFF$ и $(1+R)$ представлены в виде нечетких функций, которые обозначим соответственно \bar{A} и \bar{B} , то функция принадлежности нечеткого множества $F(t) = F^t$ может быть вычислена в соответствии с выражением

$$\mu_F(z) = \sup_{z=x \cdot y} \min(\mu_{\bar{A}}(x), \mu_{\bar{B}}(y)).$$

Так, например, если функции принадлежности нечетких множеств треугольного вида, то

$$F = \frac{\bar{A}}{\bar{B}} = \bar{A} \times (\bar{B})^{-1} = \left\{ \left(\frac{m_1 b_2 + m_2 a_1}{m_2^2}, \frac{m_1}{m_2}, \frac{m_1 m_2 + m_2 b_1}{m_2^2} \right) \text{ if } \bar{A} > 0, \& \bar{B} > 0 \right\}.$$

Здесь (a_1, m_1, b_1) и (a_2, m_2, b_2) — соответственно параметры нечетких множеств треугольного вида \bar{A} и \bar{B} .

Рассматриваются три вида функций принадлежности нечетких множеств, представляющих диапазон возможных значений дисконтированных денежных потоков и стоимостей остаточных активов (рис. 1). Пусть

$x \in [a; b]$ — диапазон возможных значений рассматриваемой расчетной величины.

Рассматриваются случаи, когда нечеткие множества приведенных величин одного из трех видов. Здесь, как правило, $a(A)$, $b(A)$ — соответственно пессимистическое и оптимистическое, а $m(A)$ или $m_1(A) = m_2(A)$ — наиболее вероятные по мнению экспертов значения прогнозируемой величины.

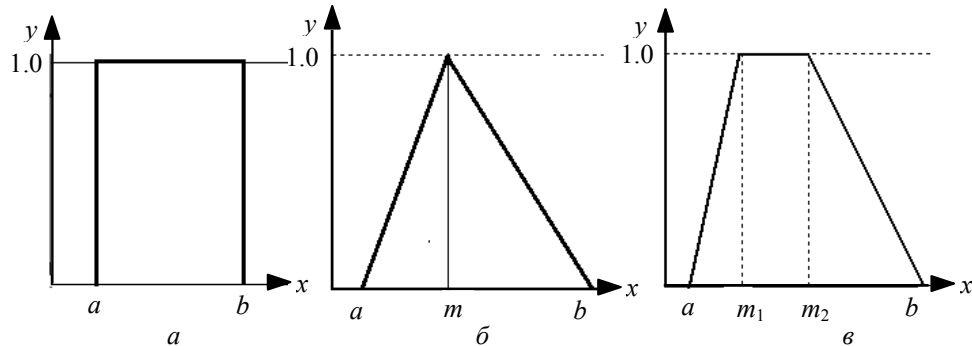


Рис. 1. Функции принадлежности нечетких множеств видов: а — прямоугольного; б — треугольного; в — трапециевидного

В соответствии с правилами fuzzy-арифметики [8, 9] операция сложения двух функций дает следующие результаты:

- результат сложения fuzzy-множеств прямоугольного вида $\mu_A(x) = [a(A), b(A)]$ и $\mu_B(x) = [a(B), b(B)]$ — fuzzy-множество с функцией принадлежности прямоугольного вида

$$\mu_C(x) = [a(C), b(C)] = [a(A) + a(B), b(A) + b(B)];$$

- результат сложения fuzzy-множеств треугольного вида $\mu_A(x) = [a(A), m(A), b(A)]$ и $\mu_B(x) = [a(B), m(B), b(B)]$ — fuzzy-множество с функцией принадлежности треугольного вида

$$\mu_C(x) = [a(C), m(C), b(C)] = [a(A) + a(B), m(A) + m(B), b(A) + b(B)];$$

- результат сложения двух функций принадлежности трапециевидного вида $\mu_A(x) = [a(A), m_1(A), m_2(A), b(A)]$ и $\mu_B(x) = [a(B), m_1(B), m_2(B), b(B)]$ — fuzzy-множество с функцией принадлежности трапециевидного вида

$$\begin{aligned} \mu_C(x) &= [a(C), m_1(C), m_2(C), b(C)] = \\ &= [a(A) + a(B), m_1(A) + m_1(B), m_2(A) + m_2(B), b(A) + b(B)]. \end{aligned}$$

Fuzzy-множества суммы n нечетких множеств A_i , $i = 1, \dots, n$, с функциями принадлежности равномерного, треугольного и трапециевидного видов определяются соответственно по формулам:

$$\mu_C(x) = [a(C), b(C)] = \left[\sum_{i=1}^n a(A_i), \sum_{i=1}^n b(A_i) \right]; \quad (4)$$

$$\mu_C(x) = [a(C), m(C), b(C)] = \left[\sum_{i=1}^n a(A_i), \sum_{i=1}^n m(A_i), \sum_{i=1}^n b(A_i) \right], \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \mu_C(x) &= [a(C), m_1(C), m_2(C), b(C)] = \\ &= \left[\sum_{i=1}^n a(A_i), \sum_{i=1}^n m_1(A_i), \sum_{i=1}^n m_2(A_i), \sum_{i=1}^n b(A_i) \right]. \end{aligned} \quad (6)$$

Для функций принадлежности общего вида

$$\mu_C(y) = \sup \min_{\left\{ i | y = \sum_{i=1}^n x_i \right\}} (\mu_{A_i}(x_i)).$$

Функция принадлежности нечеткого множества, являющегося частным от деления двух нечетких множеств с функциями принадлежности произвольного вида, где $a(A) \geq 0$, $b(A) \geq 0$, $a(B) > 0$, $b(B) > 0$, определяется выражением

$$\mu_C(z) = \sup_{z = \frac{x}{y}} \min (\mu_A(x), \mu_B(y) \mid x \in [a(A), b(A)], y \in [a(B), b(B)]).$$

ОЦЕНКА СТОИМОСТИ БИЗНЕСА С ПОЗИЦИЙ ВЛАДЕЛЬЦА. АНАЛИЗ СОСТОЯНИЯ ДИСКОНТИРОВАННЫХ ДЕНЕЖНЫХ ПОТОКОВ НА ОСНОВЕ НЕЧЕТКИХ ДИСКРЕТНЫХ ЦЕПЕЙ МАРКОВА

Если продажа бизнеса предполагается в течение текущего года, то владелец предприятия не в состоянии точно оценить величину дисконтируемых денежных потоков к концу этого года и может представить ее в виде некоторого нечеткого множества определенного вида. Изменение величины дисконтируемых денежных потоков в последующие годы еще труднее предсказать в виде детерминированных значений. В качестве одной из альтернатив представляется возможным представить нечеткие множества, определяющие эти значения в каждый год анализируемого периода, определить с помощью некоторого распределения вероятностей, т.е. оценить вероятности каждой из нескольких альтернатив пессимистических, ожидаемых (или наиболее вероятных) и оптимистических их значений, которые соответственно обозначим: $F_n^{\text{pes}}(t)$, $P[F_n^{\text{pes}}(t)]$; $F_n^{\text{ver}}(t)$, $P[F_n^{\text{ver}}(t)]$; $F_n^{\text{opt}}(t)$, $P[F_n^{\text{opt}}(t)]$; $n = 1, \dots, N$, $t = 0, 1, \dots, T$. Здесь N — количество состояний каждого из рассматриваемых значений; T — количество анализируемых периодов.

В этих условиях целесообразно динамику изменения величин $F_j^{\text{pes}}(t)$, $F_j^{\text{ver}}(t)$, $F_j^{\text{opt}}(t)$, которые в дальнейшем для простоты изложения будем представлять переменной F^t , а переменные $F_n^{\text{pes}}(t)$, $F_n^{\text{ver}}(t)$ и $F_n^{\text{opt}}(t)$ — переменной F_n^t (где $F^t = \sum_{n=1}^N F_n^t P[(F_n^t)]$), описать некоторой дискретной цепью

Маркова, в которой значения вероятностей перехода для каждого года определяется владельцем бизнеса в зависимости от предлагаемых им условий

изменения экономической ситуации, возможных объемов инвестиций, развития технологий и т.д. Такая цепь Маркова может быть нестационарной, т.е. распределения вероятностей для каждого анализируемого года могут быть различными.

Рассмотрим марковский процесс оценки стоимости компании и принятия решений в условиях, когда состояния дисконтированных потоков представлены с нечеткими множествами. Величина дисконтированных потоков F^t в каждый прогнозируемый t -й год владения компанией $t = 1, \dots, T$, находится в одном из N состояний, $n = 1, \dots, N$, $F_n(t)$. При этом заданы вероятности $0 \leq P(F_n(t)) \leq 1$ того, что в t -й год анализа величина F^t равна $F_n(t)$.

При этом справедливо $\sum_{n=1}^N P(F_n(t)) = 1, t = 1, \dots, T$.

Если в t -й год анализа величина F^t была равна $F_n(t)$, то в $(t+1)$ -й она будет равна вектору значений $F_r(t+1)$ и определяется с вероятностью, которая выражается матрицей вероятностей переходов $q_{nr}(t)$, $n, r = 1, \dots, N$; $t = 1, \dots, T$,

$$Q(t) = \begin{pmatrix} q_{11}(t) & q_{12}(t) & \dots & q_{1N}(t) \\ q_{21}(t) & q_{22}(t) & \dots & q_{2N}(t) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ q_{N1}(t) & q_{N2}(t) & \dots & q_{NN}(t) \end{pmatrix}, \text{ где } \sum_{r=1}^N q_{nr}(t) = 1, n = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T.$$

Матрицу $Q(t)$ называют стохастической матрицей переходов. Если $Q(t) = Q(t+1)$, $t = 1, \dots, (T-1)$, то цепь Маркова является эргодической.

Если $P(F_n(t))$, $n = 1, \dots, N$, распределение вероятностей значений $F_n(t)$ в t -й год анализа, то распределение вероятностей этих значений $P(F_n(t+1))$ в следующем $(t+1)$ -м году, т.е. значений $F_n(t+1)$, определяется по формулам

$$P(F(t+1)) = P(F(t))Q(t), \text{ или } P(F(t+1)) = P(F(t))[Q(t=1)]^t$$

т.е.

$$P(F_n(t+1)) = \sum_{r=1}^N P(F_r(t)) \cdot q_{nr}(t), n = 1, \dots, N; t = 1, \dots, T.$$

Здесь $[Q(t=1)]^t$ — матрица вероятности переходов $[Q(t=1)]$, возведенная в t -ю степень.

В отличие от традиционных дискретных цепей Маркова анализируемые состояния цепи определяются не действительными числами, а нечеткими множествами. Параметры функций принадлежности этих fuzzy-множеств, т.е. значения $a(t)$, $m(t)$ или $m_1(t)$, $m_2(t)$, а также $b(t)$ — действительные числа. Следовательно,

$\mu_{F_n(t)}[F_n(t)] = \{a_n[F_n(t)], b_n[F_n(t)]\}$ — для прямоугольных функций принадлежности;

$\mu_{F_n(t)}[F_n(t)] = \{a_n[F_n(t)], m_n[F_n(t)], b_n[F_n(t)]\}$ — для треугольных функций принадлежности;

$\mu_{F_n(t)}[F_n(t)] = \{a_n[F_n(t)], m_{1,n}[F_n(t)], m_{2,n}[F_n(t)], b_n[F_n(t)]\}$ — для трапециевидных функций принадлежности.

Здесь

$$P(\lambda_n \{F_n(t+1)\}) = \sum_{r=1}^N P(\lambda_n \{F_n(t)\}) q_{nr}(t),$$

где $\lambda_n \{F_n(t+1)\}$ — приведенные выше параметры функций принадлежности этих fuzzy-множеств, т.е. значения $a_n[F_n(t)], b_n[F_n(t)]$ и $m_{1,n}[F_n(t)], m_{2,n}[F_n(t)]$ или $m_n[F_n(t)]$.

Для каждого предполагаемого года владения бизнесом могут быть вычислены средние значения fuzzy-множеств дисконтируемых денежных потоков

$$L[F_n(t)] = \sum_{n=1}^N P(\lambda_n \{F_n(t)\}) \lambda_n \{F_n(t)\}, \quad t = 1, \dots, T,$$

где $L[F_n(t)]$ — соответствующие значения параметров функций принадлежности, т.е. $a[F_n(t)], b[F_n(t)]$ и $m_1[F_n(t)], m_2[F_n(t)]$ или $m[F_n(t)]$.

Все параметры нечеткого множества суммы дисконтируемых денежных потоков за весь прогнозируемый период времени определяется суммированием этих нечетких множеств по формулам (4)–(6).

ЭКСПЕРТНЫЕ ОЦЕНКИ ДИАПАЗОНОВ СТОИМОСТИ БИЗНЕСА

Сумма дисконтируемых денежных потоков за все годы прогнозируемого периода, которая рассчитывается по формулам (1)–(3), и прогнозируемая расчетная стоимость бизнеса также могут быть представлены некоторым fuzzy-множеством прямоугольного, трапециевидного или треугольного видов.

Определим возможные диапазоны ожидаемых значений анализируемых величин и значения функций принадлежности для каждого из этих значений. Это даст возможность оценить некоторый диапазон ожидаемых значений, каждое из которых может быть достигнуто при значении функции принадлежности не ниже некоторой наперед заданной величины.

На основе выполненных расчетов как инвестором, так и настоящим владельцем бизнеса могут быть определены диапазоны допустимых для них значений прогнозируемых дисконтируемых денежных потоков в каждый год прогнозируемого периода владения бизнесом, а также стоимости бизнеса, значения функций принадлежности для которых не ниже наперед заданной ими величины, и наиболее вероятное значение этих показателей как центр тяжести соответствующего результирующего нечеткого множества.

Обозначим соответствующее результирующее нечеткое множество, определяющее расчетную стоимость бизнеса с позиций инвестора и владельца бизнесом соответственно $\{F, \mu_F(F)\}$ и $\{E, \mu_E(E)\}$, а диапазоны возможных значений этих расчетных величин — $a(F), b(F)$ и $a(E), b(E)$

(т.е. для рассматриваемых выше видов функций принадлежности $\mu_F[a(F)] = \mu_F[b(F)] = 0$ и $a(F) < x(F) < b(F)$; $\mu_E[a(E)] = \mu_E[b(E)] = 0$ и $a(E) < x(E) < b(E)$).

Создание таких диапазонов для функций принадлежности треугольного и трапециевидного видов проиллюстрировано на рис. 2. Для функций принадлежности прямоугольного типа такими диапазонами является вся область возможных значений $\bar{F} \in [a(F), b(F)]$, $\bar{E} \in [a(E), b(E)]$.

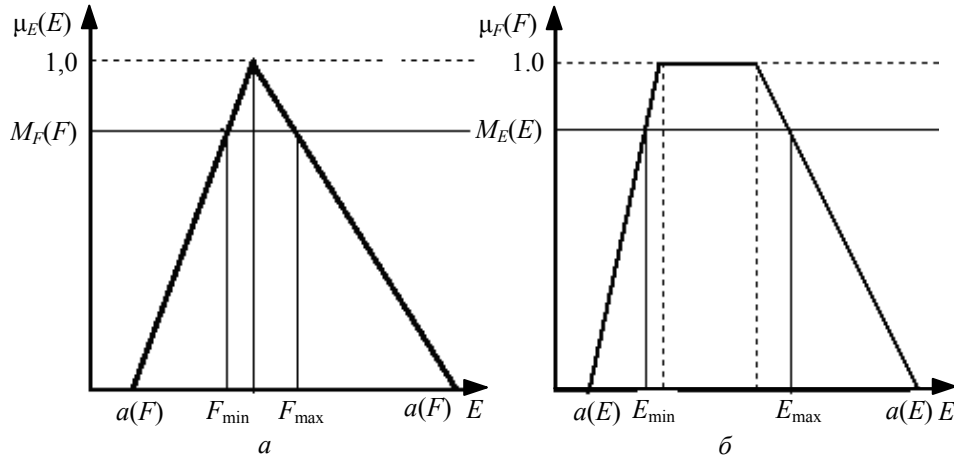


Рис. 2. Допустимые диапазоны возможных значений стоимости

Тогда наиболее вероятное значение расчетной стоимости бизнеса определяется по формулам:

$$M(F) = \frac{\int_{a(F)}^{b(F)} F \mu_F(F) dF}{\int_{a(F)}^{b(F)} \mu_F(F) dF}, \quad M(E) = \frac{\int_{a(E)}^{b(E)} E \mu_E(E) dE}{\int_{a(E)}^{b(E)} \mu_E(E) dE}.$$

Пусть предполагаемые инвестором и владельцем бизнеса предельные значения функции принадлежности результирующего нечеткого множества, определяющую прогнозируемую по их расчетам стоимость бизнеса, которая соответственно обозначается $M_F(F)$ и $M_E(E)$. Заметим, что эти значения могут и не совпадать, т.е. $M_F(F) \neq M_E(E)$, так как требования к надежности и степени риска принимаемого решения у инвестора и владельца бизнесом могут не совпадать. В частном случае для трапециевидных функций принадлежности могут быть приняты значения $M_F(F) = M_E(E) = 1$. Допустимый диапазон приемлемых расчетных значений стоимости бизнеса с позиций предполагаемого инвестора $\bar{F} \in [F_{\min}, F_{\max}]$ и владельца бизнесом $\bar{E} \in [E_{\min}, E_{\max}]$ определяется по формулам:

$$F_{\min} = \left\{ \min_{a(F) \leq F \leq b(F)} F \mid \mu_F(F) = M_F(F) \right\}$$

$$F_{\max} = \left\{ \max_{a(F) \leq F \leq b(F)} F \mid \mu_F(F) = M_F(F) \right\};$$

$$E_{\min} = \left\{ \min_{a(E) \leq E \leq b(E)} E \mid \mu_E(E) = M_E(E) \right\};$$

$$E_{\max} = \left\{ \max_{a(E) \leq E \leq b(E)} E \mid \mu_E(E) = M_E(E) \right\}.$$

Определим интервал пересекающихся значений диапазонов величин \bar{F} и \bar{E} , который обозначим как $\bar{D} \in [D_{\min}, D_{\max}]$. Различные возможные ситуации при этом показаны на рис. 3.

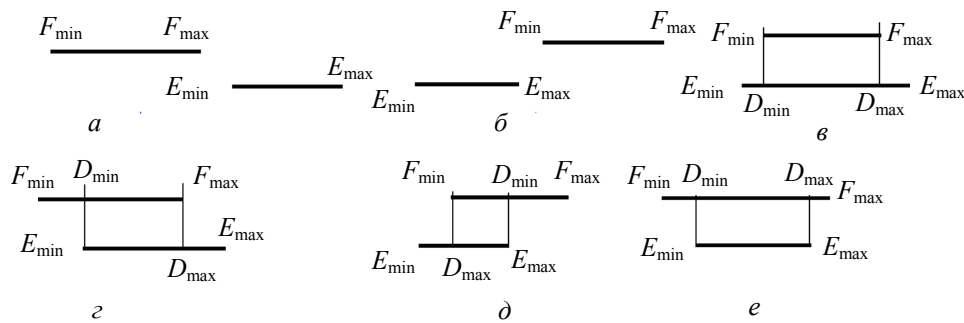


Рис. 3. . Соотношения интервалов допустимой стоимости бизнеса

Значения величин D_{\min} и D_{\max} находятся в соответствии с выражениями

$$D_{\min} = \{ \min(F_{\min}, E_{\min}) \mid F_{\min} \in \bar{E} \ \& \ E_{\min} \in \bar{F} \};$$

$$D_{\max} = \{ \min(F_{\max}, E_{\max}) \mid F_{\max} \in \bar{E} \ \& \ E_{\max} \in \bar{F} \}.$$

В случаях, приведенных на рис. 3, а, б, $\bar{D} = \emptyset$, т.е. области пересечения нет (а — инвестору нет экономического смысла покупать бизнес, б — покупка бизнеса для него является экономически выгодной). Случаи в, г, д и е, как и б могут рассматриваться как предмет переговоров, в процессе которых в пределах диапазона \bar{D} владелец бизнеса будет стремиться повысить стоимость продажи, а инвестор — уменьшить цену покупки.

На основании рассчитанных данных инвестор и владелец предприятия могут принять с учетом всех обстоятельств более взвешенное и объективное решение о целесообразности покупки или продажи этого бизнеса.

ИЛЛЮСТРАТИВНЫЙ ПРИМЕР

В планах владельца нет желания вкладывать дальнейшие инвестиции в развитие предприятия, которое он желает продать. Прогнозируемые дисконтируемые денежные потоки в текущем году он оценивает fuzzy-множествами с функциями принадлежности треугольного типа со следующими показателями:

- пессимистическая оценка $F^{\text{pes}}(t=0) = 1,8$, $P(F^{\text{pes}}(t=0)) = 0,3$;

- наиболее вероятная оценка $F^{\text{ver}}(t=0) = 2,3$, $P(F^{\text{ver}}(t=0)) = 0,4$;
- оптимистическая оценка $F^{\text{opt}}(t=0) = 2,5$, $P(F^{\text{opt}}(t=0)) = 0,3$.

То есть вектор распределения вероятностей каждого из этих значений — $Q_{\text{vlad}}(t=0) = (0,3; 0,4; 0,3)$.

Изменения этих оценок в течение следующих четырех лет производится на основе однородной дискретной цепи Маркова с матрицей переходов P_{vlad} . Остаточную стоимость предприятия к концу прогнозируемого периода (млн дол.) владелец также оценивает fuzzy-множествами с функциями принадлежности треугольного вида со следующими показателями: $E_{\text{vlad}}^{\text{pes}} = 5,1$, $E_{\text{vlad}}^{\text{ver}} = 5,6$, $E_{\text{vlad}}^{\text{opt}} = 6,0$. Распределения вероятностей прогнозируемых дисконтируемых денежных потоков в каждый последующий год $t = 1, 2, 3, 4$ рассчитываются таким образом:

$$Q_{\text{vlad}}(t) = Q_{\text{vlad}}(t-1)(P_{\text{vlad}})^{(t+1)}, \quad t = 1, 2, 3, 4,$$

где $(P_{\text{vlad}})^t$ — матрица P_{vlad} , возвышенная в степень t .

Потенциальный покупатель предприятия в соответствии со своими планами инвестиций и развития бизнеса оценивает ожидаемые дисконтируемые денежные потоки в каждый из предполагаемых год владения бизнесом также fuzzy-множествами с функциями принадлежности треугольного вида, которые обозначим соответственно $\bar{R}^{F^{\text{pes}}(t=0)}(t)$, $\bar{R}^{\text{ver}}(t)$, $\bar{R}^{\text{opt}}(t)$, $t = 0, 1, 2, 3, 4$ (табл. 1).

Таблица 1

Год прогнозируемого периода	Расчетные показатели прибыли прогнозируемых периодов		
	$\bar{R}^{\text{pes}}(t)$	$\bar{R}^{\text{ver}}(t)$	$\bar{R}^{\text{opt}}(t)$
0	1,8	2,3	2,5
1-й	2,4	2,8	3,2
2-й	2,8	3,2	3,8
3-й	3,0	3,5	4,1
4-й	3,2	3,7	4,4

Остаточную стоимость предприятия к концу прогнозируемого периода (млн дол.) владелец также оценивает fuzzy-множествами с функциями принадлежности треугольного вида со следующими показателями: $\bar{E}_{\text{inv}}^{\text{pes}} = 6,1$, $\bar{E}_{\text{inv}}^{\text{ver}} = 6,3$, $\bar{E}_{\text{inv}}^{\text{opt}} = 6,6$.

Рассчитанные матрицы переходов $(P_{\text{vlad}})^t$, $t = 1, 2, 3, 4$, а также матрица $P_{\text{vlad}} = (P_{\text{vlad}})^1$ (для $t = 0$) приведены в табл. 2.

Таблица 2

Матрицы переходов для разных лет прогнозируемого периода														
P_{vlad}			$(P_{\text{vlad}})^2$			$(P_{\text{vlad}})^3$			$(P_{\text{vlad}})^4$			$(P_{\text{vlad}})^5$		
0,25	0,35	0,4	0,8	0,2	0	0,78	0,2	0,02	0,776	0,2	0,024	0,7752	0,2	0,0248
0,2	0,35	0,45	0,7	0,2	0,1	0,76	0,2	0,04	0,772	0,2	0,028	0,7744	0,2	0,0256
0,2	0,3	0,5	0,6	0,2	0,06	0,74	0,2	0,06	0,768	0,2	0,032	0,7736	0,2	0,0264

Расчетные значения вероятностей разных значений пессимистической, наиболее вероятной и оптимистической оценок прогнозируемых дисконтируемых денежных потоков в каждый год из следующих четырех анализируемого периода, а также их средние значения приведены в табл. 3.

Таблица 3

Год прогнозируемого периода	Расчетные показатели прибыли прогнозируемых периодов					
	Значения вероятностей $P(F_{\text{vlad}}(t))$			Значения показателей денежных потоков $F_{\text{vlad}}(t)$		
	$P(F^{\text{pes}}(t))$	$P(F^{\text{ver}}(t))$	$P(F^{\text{opt}}(t))$	$F^{\text{pes}}(t)$	$F^{\text{ver}}(t)$	$F^{\text{opt}}(t)$
0	0,3	0,4	0,3	2,03	2,73	3,5
1-й	0,7	0,2	0,1	1,89	2,59	3,32
2-й	0,76	0,2	0,04	1,86	2,56	3,284
3-й	0,772	0,2	0,028	1,854	2,554	3,2768
4-й	0,7744	0,2	0,0256	1,8527	2,5504	3,2754

Суммарные расчетные значения прогнозируемых дисконтируемых денежных потоков за весь анализируемый период оценивается как владельцем бизнеса, так и инвестором также fuzzy-множествами с функциями принадлежности треугольного вида рассчитывается по следующим формулам и соответственно равны:

$$\Phi_{\text{vlad}}^{\text{pes}} = \sum_{t=0}^4 F_{\text{vlad}}^{\text{pes}}(t) + E_{\text{vlad}}^{\text{pes}} = 14,5867; \quad \Phi_{\text{vlad}}^{\text{ver}} = \sum_{t=0}^4 F_{\text{vlad}}^{\text{ver}}(t) + E_{\text{vlad}}^{\text{ver}} = 18,5844;$$

$$\Phi_{\text{vlad}}^{\text{opt}} = \sum_{t=0}^4 F_{\text{vlad}}^{\text{opt}}(t) + E_{\text{vlad}}^{\text{opt}} = 22,6562; \quad \bar{\Phi}_{\text{inv}}^{\text{pes}} = \sum_{t=0}^4 \bar{R}_{\text{inv}}^{\text{pes}}(t) + \bar{E}_{\text{inv}}^{\text{pes}} = 19,3,$$

$$\bar{\Phi}_{\text{inv}}^{\text{ver}} = \sum_{t=0}^4 \bar{R}_{\text{inv}}^{\text{ver}}(t) + \bar{E}_{\text{inv}}^{\text{ver}} = 21,8; \quad \bar{\Phi}_{\text{inv}}^{\text{opt}} = \sum_{t=0}^4 \bar{R}_{\text{inv}}^{\text{opt}}(t) + \bar{E}_{\text{inv}}^{\text{opt}} = 24,6.$$

Координаты абсцисс центров тяжести этих нечетких множеств соответственно равны: $C(\Phi_{\text{vlad}}) = \frac{1}{3}(14,5867 + 18,5844 + 22,6562) = 18,6091;$

$$C(\bar{\Phi}_{\text{inv}}) = \frac{1}{3}(19,3 + 21,8 + 24,6) = 21,6.$$

Поскольку $C(\Phi_{\text{vlad}}) < C(\bar{\Phi}_{\text{inv}})$, то с позиции инвестора целесообразно вести переговоры о покупке бизнеса.

Соотношения fuzzy-множеств прогнозируемой стоимости бизнеса с позиций владельца и предполагаемого инвестора приведены на рис. 4. На всех сечениях функций принадлежности этих fuzzy-множеств есть диапазоны взаимных интересов (ситуация, приведенная на рис. 3, з), в пределах которых можно вести переговоры об окончательной стоимости продажи этого бизнеса.

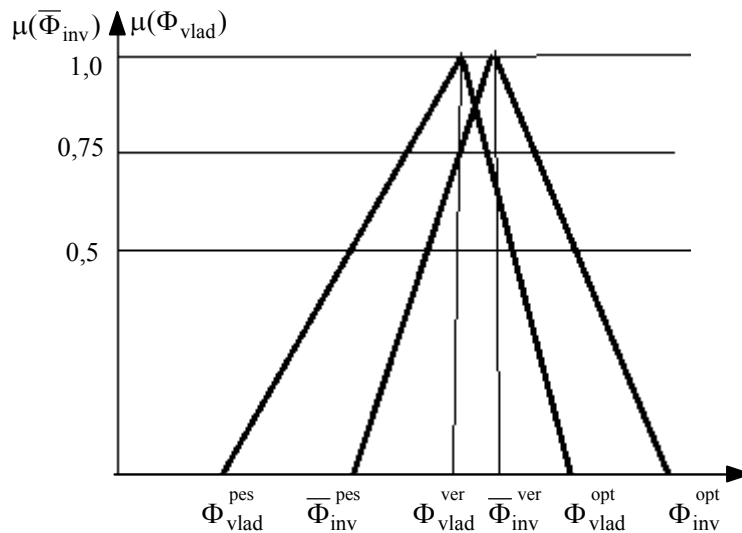


Рис. 4. Соотношение fuzzy-множеств прогнозируемой стоимости бизнеса

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенные в работе подходы на основании методов fuzzy-технологий к оценке стоимости бизнеса в соответствии с конкретными планами каждого конкретного инвестора и расчетами владельца бизнеса позволят более обосновано принять решение о целесообразности покупки компании, оценив все риски, связанные с изменениями политической и экономической ситуации в отрасли, на рынках сбыта, покупки сырья, в стране и в мире, а также с темпами инфляции. Рассмотрение в условиях нестабильной экономики с учетом различных случайных событий, связанных с вложением инвестиций, изменениями объемов производства, совершенствованием технологий, прогнозируемой стоимостью рабочей силы и энергоресурсов и т.п., которые могут оказывать как положительные, так и отрицательные воздействия на результаты работы компании, даст возможность инвестору и владельцу бизнесом, представив все анализируемые показатели в виде нечетких множеств, на основе методов fuzzy-арифметики и аппарата дискретных fuzzy-марковских цепей более детально оценить все возможные обстоятельства и проанализировать все риски, связанные с принятием решений. Введенные в работе диапазоны прогнозируемых обеими сторонами возможных рыночных стоимостей предприятия, обеспечивающие допустимую каждой из сторон степени риска, позволяют решить вопросы целесообразности дальнейших переговоров и определить граничные значения стоимости для каждой из сторон, за пределы которых можно выйти только увеличив степень допускаемого риска.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Gordon M.J.* Dividends, Earnings and Stock Price / M.J. Gordon // *The Review of Economics and Statistics*. — 1959. — Vol. 41, N 2, Part 1. — P. 99–105.
2. *Modigliani F.* The cost of capital, corporation finance and the theory of investment / F. Modigliani, M.H. Miller // *American Economic Review*. — 1958. — Vol. 48. — P. 261–297.
3. *Дамодаран А.* Инвестиционная оценка. Инструменты и методы оценки любых активов / А. Дамодаран. — Изд. Альпина Паблишер, 2010.
4. *Мерсер З.К.* Интегрированная теория оценки бизнеса / З.К. Мерсер, Т.У. Хармс; под науч. ред. В.М. Рутгаузера. — Изд-во Маросейка, 2008.
5. *Грязнова А.Г.* Оценка стоимости предприятия (бизнеса) / А.Г. Грязнова, М.А. Федотова, М.А. Эскиндаров, Т.В. Тазикина и др. — М.: Интерреклама, 2003. — 544 с. — Available at: <http://www.ceae.ru/files/Enterprise-estimation.PDF>
6. *Liu J.* Equity valuation using multiples / J. Liu, D. Nissim, J. Thomas // *Journal of Accounting Research*. — 2002. — Vol. 40, N 1. — P. 135–172.
7. *Ballwieser W.* Unternehmensbewertung: Prozeß, Methoden und Probleme / W. Ballwieser. — 3. Aufl., Stuttgart, 2011.
8. *Згуровский М.З.* Модели принятия решений в нечетких условиях / М.З. Згуровский, Ю.П. Зайченко. — К.: Наук. думка, 2011.
9. *Зак Ю.А.* Принятие решений в условиях размытых и нечетких данных / Ю.А. Зак. — М.: URSS, 2013. — 352 с.
10. *Зак Ю.А.* Вероятностный подход к оценке перспективности покупки бизнеса конкретным инвестором / Ю.А. Зак // *Системні дослідження та інформаційні технології*. — К., 2016. — № 4. — С. 23–34.

Поступила 21.06.2017

СОЗДАНИЕ КОРПОРАТИВНОЙ СЕТИ ДЛЯ КОМПОНОВОЧНОЙ СХЕМЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПАРКА ВЫСШЕГО УЧЕБНОГО ЗАВЕДЕНИЯ

ДЖ.Ф. МАМЕДОВ, А.Г. АЛИЕВА

Аннотация. Рассмотрен вопрос о создании корпоративной сети в рамках предлагаемой компоновочной схемы технологического парка на базе Сумгаитского государственного университета (СГУ). Определены основные требования эффективного функционирования технологического парка в высших учебных заведениях. Обосновано создание корпоративной сети в технологическом парке на базе функциональных подсистем образовательного, научно-исследовательского, производственного и экономического назначения, которая обеспечивала бы эффективное автоматизированное информационное взаимодействие подсистем технопарка СГУ, а также планирование информационных потоков между этими подразделениями. Предложены структура технического обеспечения на основе выбранных средств для организации надежной корпоративной сети технологического парка, а также структура схематического размещения технических средств корпоративной сети на базе UniFi в технологическом парке СГУ.

Ключевые слова: технопарк высшего учебного заведения, корпоративная сеть, планирование маршрутов, информационный поток.

ВВЕДЕНИЕ

Экономическое развитие государства во многом зависит от общего уровня высшего образования, применения инновационных методов в высшем учебном заведении и организации в нем эффективного научного, технологического и экономического управления технологического парка (технопарка). В этой связи создание технопарка и организация корпоративной сети в высшем учебном заведении Азербайджана (на примере Сумгаитского государственного университета) является научно-актуальной проблемой.

Цель работы — создание корпоративной сети для управления научным, технологическим и экономическим процессами технопарка в Сумгаитском государственном университете (СГУ).

Выбор научных профилей технологического парка зависит от наиболее популярных инженерных специальностей СГУ, приоритетных для государства инженерных специальностей, а также от количества высококвалифицированных ученых СГУ [1]. Для анализа выбраны три факультета: инженерный, химико-биологический и физико-энергетический. Научный персонал в этих факультетах приведен в таблице.

Для выбора научных профилей технопарка в СГУ за основу взяты особые научные достижения университета в тех или иных областях.

Научный персонал СГУ

Инженерный факультет	Химико-биологический факультет	Физический факультет
Компьютерные науки: профессоров – 5, доцентов – 10	Химия: профессоров – 2, доцентов – 8	Физика: профессоров – 1, доцентов – 12
Электроэнергетика: профессоров – 2, доцентов – 11	Биология: доцентов – 5	
Механика: доцентов – 3	Экология: доцентов – 3	

Для выбора научных профилей технопарка в СГУ за основу взяты особые научные достижения университета в тех или иных областях.

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Начиная с конца 80-х годов XX века в СГУ успешно внедрялись программы по автоматизации предприятий г. Сумгаита (алюминиевого завода, трубопрокатного завода). С 2012 г. под руководством ученых СГУ по инженерным специальностям (информационная технология, электроэнергетика, химия, экология, биология и физика) были достигнуты результаты в республиканских и международных проектах, выставках и научно-инженерных конкурсах молодых ученых.

В качестве научных профилей для функционирования технопарка в СГУ выбраны следующие профили [4]:

- 1) применение информационных технологий и интеллектуальное управление технологическими процессами;
- 2) проектирование нетрадиционных электроэнергетических установок;
- 3) применение биоинженерных и медицинских технологий.

Для эффективного функционирования технопарка в высших учебных заведениях необходимо выполнение следующих требований:

- 1) площадь территории высшего учебного заведения должна позволять размещение научных, производственных и административных зданий;
- 2) высшее учебное заведение должно размещаться близко к местным и международным коммуникационным маршрутам;
- 3) из анализа технопарков Европы в основном технопарки должны размещаться в высших учебных заведениях провинциальных городов.

В этой связи следует сделать вывод, что наиболее подходящим высшим учебным заведением, которое находится в провинциальном городе, является СГУ в городе Сумгаит. Его территория имеет достаточную площадь для размещения всех построек технопарка [5]. Сумгаит находится достаточно близко к местным и международным транспортным магистралям (рис. 1).

В зависимости от площади размещения СГУ, выбранных профилей и принципов построения технопарка в высшем учебном заведении предлагается структурно-функциональная схема технопарка СГУ (рис. 2).

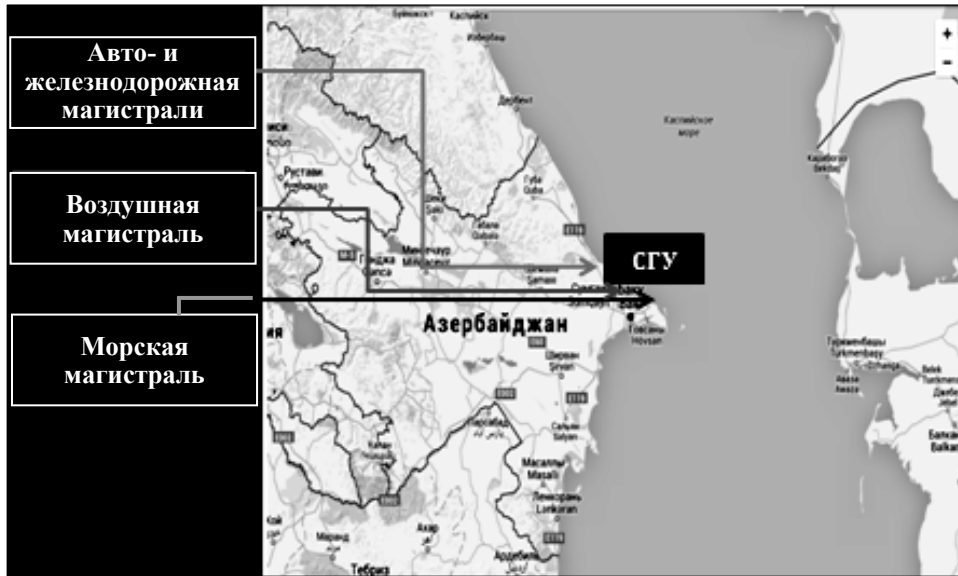


Рис. 1. Схематическое размещение СГУ вблизи международных транспортных магистралей



Рис. 2. Структурно-функциональная схема технопарка СГУ

Из-за наличия в технопарке подсистем образовательного, научно-исследовательского, производственного и экономического назначений требуется создание корпоративной сети [1], которая обеспечивала бы эффективное автоматизированное информационное взаимодействие подсистем технопарка СГУ, а также планирование информационных потоков между этими подразделениями и поддержание международного стандарта по качеству инновационных проектов в технопарке [3].

Схема функционирования корпоративной сети технопарка СГУ выбирается на основе:

- компоновочной схемы технопарка СГУ;
- иерархической зависимости подсистем технопарка СГУ;
- планирования функций подсистем технопарка СГУ;
- экономического планирования работ технопарка СГУ.

В зависимости от иерархической структуры технопарка СГУ предлагается общая схема корпоративной сети (рис. 3).



Рис. 3. Общая схема корпоративной сети технопарка СГУ

Для обеспечения корпоративной сети технопарка СГУ выбираются технические средства коммутаторного центра, которые обеспечивают работу локальной компьютерной сети в пределах учебных отдельных корпусов, научно-исследовательских центров, гибкого промышленного предприятия [2] и бизнес-центра.

В зависимости от выбранных средств UniFi и места их размещения на территории технопарка предлагается компоновочная схема размещения технических средств UniFi корпоративной сети в технопарке СГУ (рис. 4).

Для технопарка СГУ, где административное здание, научно-исследовательский корпус и гибкое промышленное предприятие находятся отдельно друг от друга, выгоднее и надежнее использовать UniFi-бесшовную распределенную Wi-Fi сеть. При этом, покидая зону действия одной точки доступа и переходя в зону действия другой, не нужно подключаться заново. Более того, связь вообще не прерывается на границе перехода — можно продолжать работать в браузерных приложениях.

Чтобы применить UniFi-сеть в технопарке СГУ необходимо обеспечить [3]:

1) требуемое количество точек доступа UniFi, в том числе наружных, если планируется распространить Wi-Fi покрытие и на территорию снаружи корпусов технопарка СГУ;

2) необходимое количество PoE-адаптеров к каждой точке (или свитч с поддержкой PoE); компьютер или ноутбук, на который устанавливается программный контроллер UniFi;

3) маршрутизатор или коммутатор для подключения точки доступа и компьютера с установленным контроллером;

4) источник бесперебойного питания или сетевой фильтр для подключения оборудования.

В LAN порт точки UniFi подключается кабель, ведущий к роутеру или коммутатору, а в порт — PoE-кабель к адаптеру (или PoE-свитчу). Компьютер или ноутбук также подключаются к маршрутизатору или коммутатору.

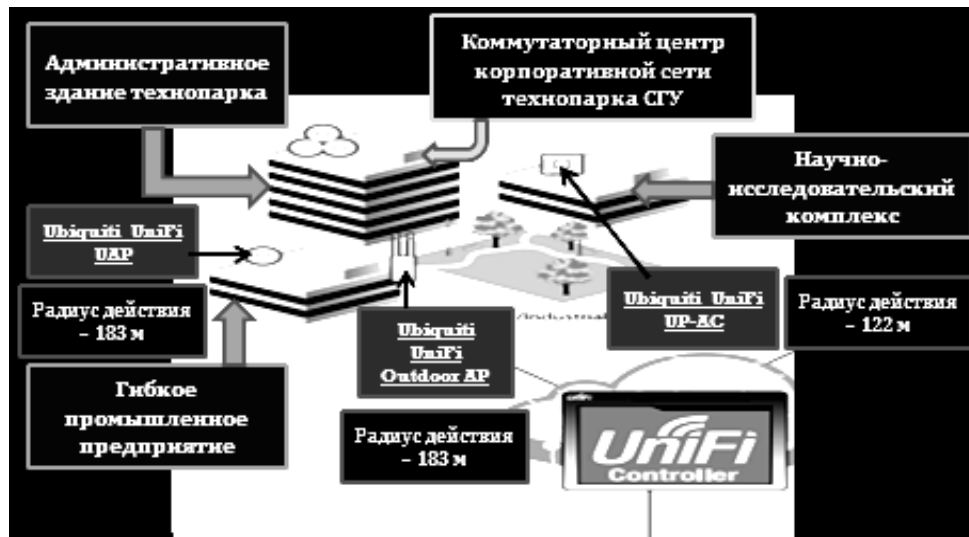


Рис. 4. Компоновочная схема размещения технических средств UniFi корпоративной сети в технопарке СГУ

При развертывании сети UniFi в технопарке СГУ выполняются поэтапные процедуры [6]:

Шаг 1. Выполняются процесс монтажа и подключение точек доступа на потолке или стенах корпусов технопарка СГУ. Их соединение осуществляется с помощью сетевого кабеля с маршрутизатором и с адаптерами PoE.

Шаг 2. Устанавливается и настраивается программный контроллер UniFi.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Осуществлен выбор научных профилей и обоснована важность создания технопарка в СГУ.

2. На основе выбранной компоновочной схемы технопарка СГУ и его иерархической структуры предложен алгоритм функционирования корпоративной сети между подсистемами технопарка.

3. Решен вопрос выбора технических средств для обеспечения работы корпоративной сети технопарка СГУ.
4. Предложено схематическое размещение технических средств корпоративной сети в технопарке СГУ.
5. Выбран порядок действий при развертывании сети UniFi в технопарке СГУ.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Равский А.* Эволюция корпоративных сетей / А. Равский, Автор статьи – консультант отдела сетевых технологий «ЭС ЭНД ТИ УКРАИНА», 2013.
2. *Ghuseynov E.* Application of Flexible Industrial Park in the Scientific Technology Park of Sumgait State University of Azerbaijan // E. Ghuseynov, J. Mammadov, G. Genjeliyeva // British Journal of Applied Science & Technology 13(4): XX-XX, 2016, Article no.BJAST.22131 ISSN: 2231-0843, NLM ID: 101664541.
3. *Корпоративная сеть.* — <https://ru.wikipedia.org>
4. *Mammadov J.F.* Organization of technology park and its structure at high educational school of Azerbaijan / J.F. Mammadov // European researcher. — 2011. — № 10 (13). — P. 1370–1375.
5. *Mammadov J.F.* Organization of technopark at higher educational school by creation of technopark / J.F. Mammadov // Nauka i studia. — 2011. — № 10 (41). — P. 95–97.
6. *Сазонов И.В.* Проблемы построения корпоративной сети T-Comm / И.В. Сазонов // Телекоммуникации и транспорт. — 2011. — Вып. 8.

Поступила 07.04.2017

ФОРМУВАННЯ ЗНАННЯ-ОРІЄНТОВАНОГО ІНФОРМАЦІЙНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ СКЛАДНИХ СИСТЕМ

Т.В. КОЗУЛЯ, Н.В. ШАРОНОВА, М.М. КОЗУЛЯ

Анотація. Виконано аналіз існуючих методів та моделей для об'єктів соціально-еколого-економічного змісту та формування знання-орієнтованої системи для прийняття рішень на основі ідентифікації знань. Подано інформаційно-алгоритмічне забезпечення практичного застосування керування системним об'єктом будь-якого рівня складності в умовах невизначеності інформації. Розглянуто процес обґрунтування доцільності звернення під час моделювання поведінки системного об'єкта до положень синергетики і теорії нелінійних процесів функціонування складних систем. Розроблено проект знання-орієнтованої системи інформаційно-програмного забезпечення оброблення інформації для дослідження складних систем.

Ключові слова: системний об'єкт, знання-орієнтована система, логічна мережа, складна система, ентропійна оцінка, база знань, ентропійно-компараторна оцінка, компараторна ідентифікація.

ВСТУП

Необхідність узгодження структури і характеристик процесів для керування гармонійним розвитком системних об'єктів потребує звернення до методів інтелектуального аналізу даних. Такий аналіз важливий для реєстрації послідовності ефектів чи подій та процесів, які спричиняють їх ненормалізований стан, тобто постає потреба у прийнятті рішення про порядок подальшого перебігу змін у системі чи об'єкті, виходячи з наявної локальної інформації з використанням знання-орієнтованих баз даних.

У літературі вітчизняних сучасників розглядається поняття самоорганізації як переходу від хаотичного до більш упорядкованого стану. Такі системні переходи є результатом необоротних нерівноважних процесів, які розглянуто у працях І.Р. Пригожина, А.В. Коваль, І.І. Горбань [1–3]. Для опису відношення за наявною вхідною і вихідною інформацією у вигляді знань про стан і процес, що визначають перетворення у системі, використовують логічні мережі, зазначені у працях Ю.П. Шабанова–Кушнарєнка [4, 5].

Зарубіжні науковці Wang Xinghao [6], J. Kumari [7], Jae-Yoon Jung [8], Parvathi Chundi [9] акцентують увагу на імітаційних моделях для визначення стану і прогнозування змін у складних системах з метою прийняття рішень щодо уникнення небезпек, планування заходів з усунення загроз. Особливістю вирішення завдань еколого-економічного змісту за цими працями є використання функції ентропії як індикатора стану будь-якого рівня складності об'єкта [6–9].

Мета роботи — дослідження системних об'єктів соціально-еколого-економічного змісту та формування знання-орієнтованої системи для прийняття рішень на основі ідентифікації знань і вирішення таких завдань:

– обґрунтування методичних підходів та методичних основ оцінювання стану складних систем в умовах невизначеності;

– розроблення бази знань проведення системного аналізу відповідно до сформованого інформаційно-методичного забезпечення оцінювання стану системних об'єктів;

– розроблення інформаційно-програмного забезпечення оброблення інформації з отриманням однозначного подання результатів щодо стану систем і процесів за наданої повноти знань.

ОСНОВНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ЇХ ПРАКТИЧНЕ ОЦІНЮВАННЯ

Під час дослідження системних об'єктів передбачається ідентифікація змін характеристик фактичного стану складних систем еколого-соціально-економічного змісту за даними стаціонарних моніторингових досліджень.

Порушення рівноважного розвитку об'єктів і поява небезпеки в системах навколишнього середовища (НС) визначається функцією відповідності у вигляді стану складових систем і процесів. Для остаточного оцінювання якості «об'єкт – середовище» надається комплексний результат оцінювання на підставі послідовного розв'язання невизначеності із застосуванням положень синергетики, математичної логіки [4].

Динаміка змін системи визначається поступовими переходами: у початковий момент часу (стан A) усі системи об'єкта мають однаковий стабільний характер функціональності, невизначеність відсутня, ентропія дорівнює нулю. Після дії внутрішніх дестабілізуювальних факторів чи порушення гомеостазу з НС (вплив зовнішніх факторів — випадковість, стохастичність невідповідності взаємодії «об'єкт – НС») (перехід $A-B$) поступово включаються механізми самоорганізації системи і об'єкт загалом переходить у стохастичний стаціонарний стан (C , перехід $B-C$, ентропія S досягає максимуму) (рис. 1, a).

Еволюційний розвиток системи у проміжному стані B наближається до нормального розподілу (рис. 1, b).

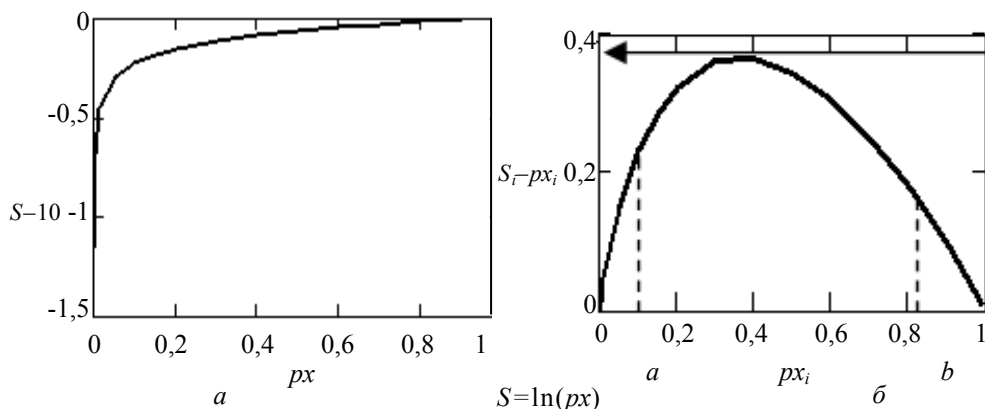


Рис. 1. Характеристика змін за траєкторією максимальної ентропії

У межах функції розподілу випадкових подій (ефектів, відгуків) системи, визначених інтервалом $[a, b]$, міститься зона невизначеності, яка ідентифікується за впровадженням в системний аналіз ентропійною функцією. Згідно з рис. 1, б подається опис об'єкта за його динамікою за хаотичності (повної невизначеності) і за значенням $\mu \cong S$ або ΔS :

$$S(x) = \begin{cases} \text{sign}[x - a] \text{ або } a \rightarrow -\infty; \\ \text{sign}[x - b] \text{ або } b \rightarrow \infty. \end{cases} \quad (1)$$

Детерміновану величину a визначають як випадкову величину X , ентропійна функція якої має тут одиночний стрибок у точці a (рис. 1, б). Зміни ентропії відзначено відгуком системи на трансформацію вхідної дії з боку зовнішнього середовища на межі системи L , взаємодії отриманої інформації із внутрішніми факторами системи LM , що зумовлює прояв факторів M_2 стабілізувального або деструктивного характеру з подальшою зміною стану H відповідно $M_2H \rightarrow H'$ або H_2 . Інформативність такої системи з урахуванням початкового стану і його варіації за рахунок вивільнення зв'язаної енергії (негентропії), зважаючи на наявні процеси, відображають аналогічно до зазначеної поведінки складових (множина X змінних x — $X = \{x\}$) з поділом на відбиту і невідбиту частини, що дорівнює адитивній негентропії I_Σ і ентропії відбиття S :

$$I_A = I_\Sigma + S. \quad (2)$$

Розв'язання невизначеності в зоні $[a, b]$ завдяки ентропії стає можливим, якщо за наведеною вище логікою формування структурного упорядкування враховувати саме синергетичну теорію інформації, виходячи з вивчення перетворень при взаємодії об'єкта з НС і систем у внутрішньому просторі об'єкта. Відповідно до виразу (2) структура системи щодо її упорядкування і хаотичності розглядається за законом збереження суми хаосу і порядку. Зміна станів за результатами процесів взаємодії будь-яких факторів, дії регулювальних і керувальних механізмів визначається законом збереження інформації на міжвидовому інформаційному рівні. Звернення до ентропійних характеристик стану і процесів, статички і змін щодо визначення поняття «кількість інформації» обґрунтовано поєднанням і нерозривністю взаємозв'язку комбінаторного, імовірнісного і синергетичного підходів.

Урахування взаємодії систем із синергетичним ефектом самоорганізаційної дії дозволяє стабілізувати стаціонарний стан «система (H^0) – НС (W)» відповідно до змін «стан⁰ – процес (зовнішній фактор – внутрішній фактор, внутрішній фактор – внутрішній фактор) – стан⁰» (рис. 2). Такий аналітичний підхід дає змогу послідовно вирішувати проблему невизначеності конкретної ситуації. Стабілізація системи за взаємодії з хаотичною дією НС визначається на феноменологічній основі про ймовірність процесів, які перебігають довільно з більшою ймовірністю при зменшенні за від'ємними значеннями ентропії взаємодії факторів (LM , HM_2). Таким чином, в області невизначеності в інтервалі $[a, b]$ між значеннями $[x_2^{\min}, x_2^{\max}]$ за ентропійною оцінкою встановлюється неідентифікована подія і фактор керувальної дії.

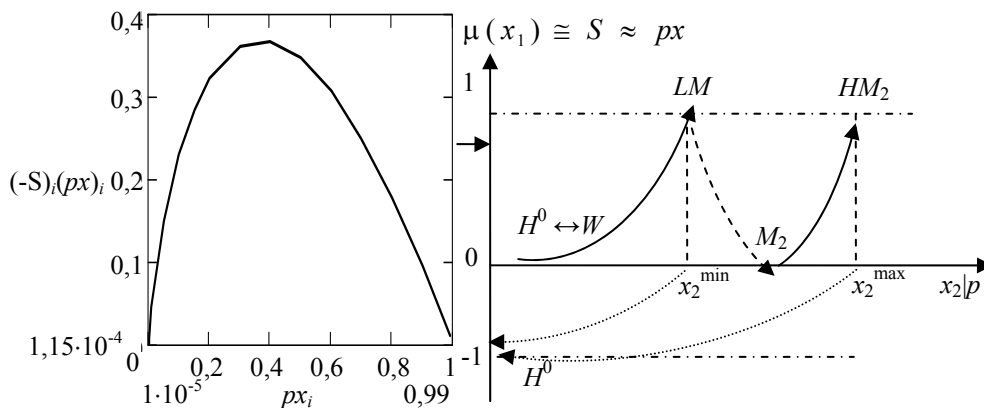


Рис. 2. Розв’язання невизначеності стану системи за траєкторією ентропії процесів самовідновлення стану (синергетичний підхід)

Відповідно до логіки ентропійного розв’язання задачі відбувається ідентифікація стану системних утворень, складові яких зазнають від НС хаотичних непередбачених впливів з невизначеними за їх проявом наслідками. Підґрунтям розпливчості знань про параметри стану і його змін під дією факторів НС є особливістю соціальної і екологічної систем та їх соціально-екологічного утворення.

Уникаючи експертних процедур, звертаються до аналізу відповідностей природному гомеостазу «об’єкт – НС» H^0 , навколо якого взаємодіють зовнішні і внутрішні фактори, що відповідно до ентропійної функції розглядається як повернення до відновлення природних зв’язків між системами $H^0 \leftrightarrow W \rightarrow LM \rightarrow H^0$ або самоорганізаційних синергетичних ефектів прагнення неупорядкованості до стійкого рівноважного стану за умови розгляду вироблення ентропії $S'(K)$, умовної ентропії $S(\xi|\eta)$ і змін ентропії $\Delta S \rightarrow 0$. Зміни внутрішнього системного простору об’єкта у вигляді M_2 дещо стабілізує стан системи на рівні стаціонарності зв’язків з НС H_1^* , що характеризується наявністю негентропійної напруги і спонукає до вивільнення енергії $H_1^*M_2$ та адаптації об’єкта до нових умов взаємодії із системами H^1 .

Таким чином, за принципом максимуму ентропії визначається не тільки фінальний стохастично-рівноважний стан системи, а й динаміка перехідних процесів. Зі сприйняттям об’єктом (системою) дії стохастичного непередбаченого (невизначеного) характеру формується відповідна траєкторія максимальної ентропії від початкового до кінцевого стаціонарного стану.

З урахуванням постановки завдань з оцінювання стану складних систем відповідно до наявної інформації про дані ξ , що містяться в отриманих результатах або визначаються характеристикою для системи η , запропоновано обґрунтувати загальну шкалу кількісних характеристик ентропійної функції ідентифікації «стан системи – процес – стан системи» з використанням логічної мережі як засобу опису будь-яких відношень; подання вхідної і вихідної інформації у вигляді знань за наявності проміжних змінних щодо

перетворень у системах для лінійних логічних переходів як основного засобу їх реалізації [4, 10, 11].

Для переходу до функції відношень між просторами стану в початковий фіксований момент часу і простором зміни стану (за проявом відхилень від звичайного) у деякий час за наявності елементів невизначеності розглядаються лінійні логічні перетворення з метою встановлення причинно-наслідкової компоненти об'єктивним засобом. Для виконання умови лінійності функції співвідношення між наявною інформацією для ξ і результатами, отриманими чи визначеними, характеристикою для системи η вигляду $F : P_\xi \rightarrow P_\eta$, якщо $S(\xi|\eta) \rightarrow 0, \epsilon$

$$[F(P)](y) = \bigvee_{x \in \xi} (K(x, y)P(x)), \quad (3)$$

де для будь-якого $y \in \eta$ $K(x, y)$ — предикат з $P_{\xi \times \eta}$.

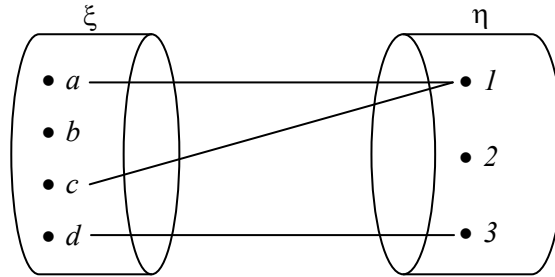


Рис. 3. Графічна інтерпретація ядра лінійного логічного перетворення $K(x, y)$

Ядро логічного перетворення задається графом відношень між складовими критеріями стану для ξ і η [4, 11]. Для виконання еколого-економічного аналізу системний об'єкт ξ у зв'язку зі складністю і наявністю множинних зв'язків з НС розглядаються в ситуації невизначеності для критеріїв оцінювання: рівень економічного розвитку (a — економічна система); індекс соціально-економічного благополуччя суспільства (b — соціально-економічна система); рівень екологічності (c — екологічна система); оцінювання здоров'я населення (d — соціальна система). Наявні (відсутні) інформаційні неточності пропонується доповнювати за допомогою функції відношень, наприклад існування загальної інформації про економічні 1, соціальні 2 та екологічні 3 показники якості (рис. 3).

Для отримання даних про надання загальної оцінки якості для ξ , що враховує усі критерії оцінювання, запроваджується ядро перетворення з отриманням лінійно логічного переходу, тобто з'єднання, а кінцевий результат з урахуванням інформації про η набуває вигляду:

$$K(x, y) = (x^a \vee x^c)y^1 \vee x^d y^3;$$

$$\begin{aligned} Q(y) &= \exists x \in \{a, b, c, d\} (((x^a \vee x^c)y^1 \vee x^d y^3) \wedge P(x)) = \\ &= \exists x \in \{a, b, c, d\} (((x^a \vee x^c)y^1 \vee x^d y^3) \wedge (x^a \vee x^b \vee x^c \vee x^d)) = y^1 \vee y^3. \end{aligned}$$

Оскільки $K_1(x, y)$, $K_2(y, z)$, $K(x, z)$ — прямокутні матриці, то з'єднання предикатів розглядається як добуток матриць:

$$K(x, z) = K_1(x, y) K_2(y, z) = \bigvee_{y \in N} (K_1(x, y) \wedge K_2(y, z))(y, z).$$

З урахуванням наявних процесів у системах здебільшого кінцевий результат являє собою перетин усіх проміжних «продуктів» перетворень за взаємодії «система – система», «система – внутрішнє середовище», «система – зовнішнє середовище», «об’єкт – зовнішнє середовище» і має вигляд n -го степеня лінійних перетворень:

$$Q^{(n)}(y) = \bigwedge_{i=1}^n K_i Q(y), \text{ де } K_i = K = K(x, y)K(y, z);$$

$$P^{(n)}(y) = \bigwedge_{i=1}^n K'_i P(x), \text{ де } K'_i = K' = K(x, y)K(y, z). \quad (4)$$

Шуканий результат отримують за збіжності вихідних даних на n -му та $(n-1)$ -му і наступних $(n+1)$ -му, $(n+2)$ -му і т.д. кроках.

Стан системного об’єкта за наявності знань з певним рівнем неточності і недостатності встановлюється за допомогою ентропійної функції і аналізу невизначеностей, а кінцевий результат оцінювання за умов істотного впливу НС визначається з урахуванням аналізу перебігу процесів. Останній фактор подолання ситуації невизначеності дозволяє, крім статичних визначень для системи при розв’язанні завдань керування і регулювання об’єкта еколого-економіко-соціального змісту, встановити стабілізуювальні фактори [10].

Перебіг будь-якого процесу, у тому числі і фізико-хімічної природи, забезпечується певними умовами, які залежно від напрямку процесу, його специфіки з отриманням визначених результатів характеризується змінними. Для встановлення особливостей проходження змін їх розбивають на ймовірні процеси P_1, P_2, \dots, P_n , імовірність перебігу яких зумовлюється змінними x_1, x_2, \dots, x_n , що визначаються скінченною множиною значень стану процесу: як неможливий — a ; виконується — b ; здійснений — c . Таким чином, змінні мають вигляд $x \in \{a, b, c\}$ і значення $\{0, 1\}$ (0 — подія не відбулася), а зв’язки між процесами подають через предикати x_1, x_2, \dots, x_n , L_1, L_2, \dots, L_n вигляду $l_1(x_1, x_2)$, наприклад, для процесів P_1 і P_2 .

Неявна ситуація, яка складається щодо процесів, що відбуваються у системі, характеризується існуванням декількох альтернатив і необхідністю синхронізації обраних подій в межах зафіксованих виконаних змін. Тоді неявний вибір визначається суміщенням конструкцій синхронізації і вибору [10]. Так, процеси P_1 і P_2 можуть зумовлювати зміни у функціонуванні процесів P_4 і P_5 , що в кінцевому підсумку стабілізують систему з урахуванням проміжних подій t , які сприяють довільному перебігу процесів за ентропійною оцінкою $-S \rightarrow \max$, $\Delta S_{\text{proz}} \rightarrow -\max$, $\Delta S_{\text{sys}} \rightarrow \min$.

Початкові параметри (змінні) властивостей системи дещо змінюються в неявній формі внаслідок процесів самовдосконалення P_1 і P_2 з подальшою взаємодією P_3 для підтримання системи в стабільному стані, збалансованому за логічною мережею завдяки прояву характеристик x_4, x_5 функціональності систем P_4 і P_5 (рис. 4) відповідно до запровадженої системи предика-

тів з урахуванням змінної $t \in \{0,1,2,3\}$ щодо виконання подій таких процесів P_1, P_2, P_3 і P_1, P_2, P_3 та отримання $R \approx C_1$:

$$\begin{cases} L_1(x_1, x_3), \\ L_2(x_1, t), \\ L_3(x_2, x_3), \\ L_4(x_2, t), \\ L_5(x_3, t), \\ L_6(t, x_4), \\ L_7(t, x_5). \end{cases}$$

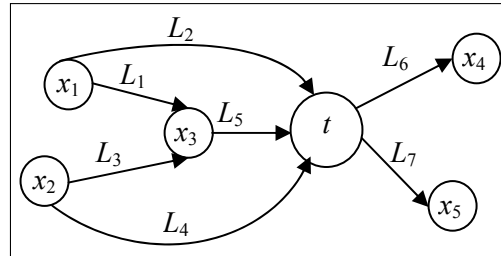


Рис. 4. Логічна мережа ситуації неясного вибору процесів змін

Таким чином, пропонується уникати невизначеності у прийнятті рішення щодо керування системними об'єктами соціально-еколого-економічного змісту з використанням конструктивних моделей математичної логіки, поєднуючи аналіз стану і процесів у системах і за їх межами, тобто у НС. При цьому всі такі моделі поєднуються в цілісний аналітичний комплекс з використанням ідеології організаційних механізмів теорії синергетики. На думку Г. Хакена [11], синергетику можна розглядати як форум, на якому вчені різних дисциплін обмінялися ідеями щодо того, як обходитися з великими системами, що і є об'єктом дослідження прийняття рішення в умовах ризик-невизначеності.

На основі наведеної вище методики оцінювання стану системних об'єктів пропонується розробити клієнт-серверну систему для підтримання прийняття рішення щодо управління якістю складними об'єктами (рис. 5).

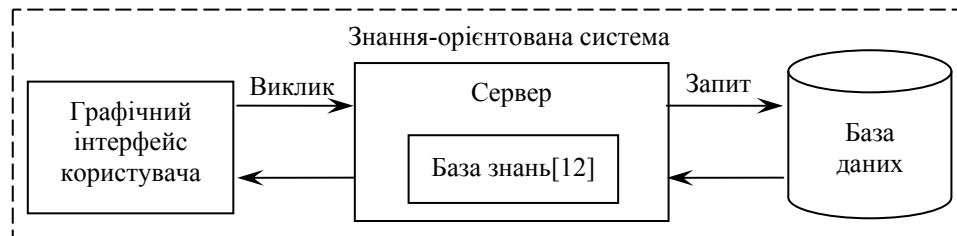


Рис. 5. Клієнт-серверна система

Основа бази знань складають інформаційні дані про властивості систем соціально-еколого-економічного змісту, вимоги безпеки до забезпечення їх функціональності та нормативна база, знання про довільні процеси, що сприяють адаптації, упорядкованості та самоорганізації об'єктів.

Істотна відмінність клієнт-серверної системи від раніше розроблених програмних продуктів [12, 13] полягає в тому, що вона орієнтована на користувачів мобільних пристроїв і уможливує доступ не лише через мобільний додаток, але й через мережу Інтернет та дозволяє зберігати дані на сервері.

На практиці моделі «об'єкт – НС» для ентропійно-інформаційного аналізу природно-техногенних систем і підходи формування знання-орієнтованих даних на базі отриманих результатів реалізуються за алгоритмом, показаним на рис. 6.

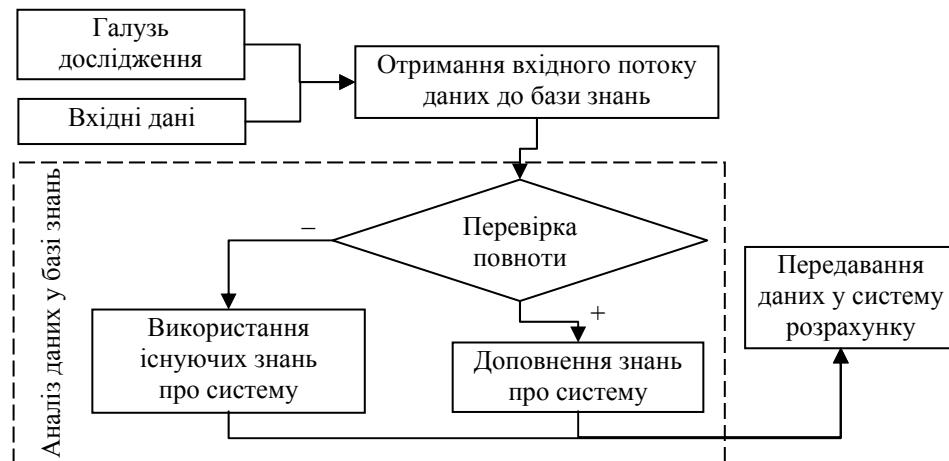


Рис. 6. Алгоритмічне забезпечення оцінки відповідностей і отримання знань

Так, для дослідження відповідностей екологічному стану розглянуто природно-техногенні комплекси території Зміївського району, які зазнають впливу промислово-енергетичного комплексу, відповідно і забруднення НПС важкими металами (ВМ).

Відповідно до положень компараторної ідентифікації визначено геохімічний підпростір A_1, A_2, \dots, A_m (m — розмірність), для якого (x_1, x_2, \dots, x_m) складені з факторів впливу у вигляді $x_1 \in A_1, x_2 \in A_2$, що становлять предметний простір з катіонних і аніонних форм ВМ $A_1 = A_2 = \dots = A_m = U$ [14]:

$$U = \left\{ \underbrace{\text{Zn, Co, Ni, Pb, Sr, Cu}}_{x_1}, \underbrace{\text{Mo, Cr, V}}_{x_2} \right\}.$$

Для опису трансформації у міграційному потоці стан ВМ подається у вигляді двочастинного графу. Для аналізу стану фактора остаточного впливу ВМ на суміжні середовища (у тому числі і на людину) враховують зменшення рухливості за рахунок довільних процесів утворення ними нерозчинних сполук, нагромадження в ґрунті і відсутність у біоматеріалі, що задає множину можливих варіантів станів. Для оцінювання безпеки надходження ВМ в об'єкти НПС виникає необхідність характеристики відношень: $\{x_1, x_2\}$ $m = 2$, $A_1 = \{\text{Zn, Co, Ni, Pb, Sr, Cu}\}$; $A_2 = \{\text{Mo, Cr, V}\}$, тоді $S = A_1 \times A_2$ є множиною пар вигляду (x_1, x_2) , для яких відношення формуються за значенням ентропійного стану, тобто аналізу процесів змін і самоорганізаційних здатностей системи «ґрунт» загалом. Відношення, що є частинами одного й того самого простору, однотипні, реалізовані операціями: об'єднання – диз'юнкції $\vee \cup$ або; переріз – кон'юнкція $\wedge \cap$. Для аналізованого стану важких елементів з урахуванням імовірності відхилення їх кількості від нормативно встановленого обмеження малого ризику 20% беруть таке відношення [14]:

$$P(x_1 - x_n) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } x \leq 0,2; \\ 0, & \text{якщо } x > 0,2. \end{cases}$$

Ентропія при довільних процесах має збільшуватися і відповідно ідентифікується стан безпеки елемента у ґрунті [14].

Аналогічно оцінюється стан здоров'я населення, що є відображенням екологічності дослідженої території.

```
private void Paint(int m, double[] cv, string[] nazv)
{
    Graphics g = pictureBox1.CreateGraphics();
    Pen myPen = new Pen(Color.DeepPink);
    Font hfont = new Font("Tahoma", 10, FontStyle.Bold);
    Font mfont = new Font("Tahoma", 10);
    float sw = (float)((this.pictureBox1.Width - 20) /
(m));
    double cvmax = cv[0];
    double cvmin = cv[0];
    for (int i = 0; i < m; i++)
    {
        if (cv[i] > cvmax) cvmax = cv[i];
    }
}
```

Таким чином, у роботі вперше запропоновано послідовне розв'язання завдань невизначеностей для слабоструктурованих ієрархічно організованих складних систем на основі запровадженого інформаційно-методичного забезпечення ентропійно-компараторної оцінки станів об'єктів дослідження завдяки створенню знання-орієнтованої клієнт-серверної системи.

ВИСНОВКИ

У роботі подано методику оцінювання стану складних систем, інформаційно-програмного підтримання та її реалізації, що дозволило отримати такі науково-практичні результати:

1) визначено основні елементи інформаційно-методичного забезпечення аналізу й оцінювання стану складних систем на рівні дослідження «стан – процес – стан», що становить основу послідовного розв'язання невизначеностей для оцінювання стану «об'єкт – НС» (див. рівняння (1)–(4));

2) обґрунтовано необхідність і доцільність застосування бази знань для проведення аналізу систем з метою підтримання прийняття рішень в умовах невизначеності, що дозволяє комплексно вирішувати питання результату аналізу станів і змін у складних системах;

3) подано інформаційно-програмне забезпечення оброблення інформації з однозначним поданням результатів щодо стану систем і процесів за визначеної повноти знань (див. рис. 5).

Наукова новизна отриманих результатів полягає в теоретичному обґрунтуванні інформаційно-методичної системи з комплексного оцінювання якості системних об'єктів вигляду «стан системи – процес – рівень безпеки» на основі розроблення інформаційно-інтелектуальних знання-орієнтованих систем підтримання прийняття рішень, де вперше сформовано практичну методику оцінювання відповідності стану і функціональних можливостей системних об'єктів та запропоновано аналітичну систему дослідження різномірних об'єктів вигляду «(система $\xleftrightarrow{\text{процес}}$ зовнішнє середовище) $\xleftrightarrow{\text{стан}}$ система $\xleftrightarrow{\text{процес}}$ зміни системи – процес – (стан системи)' – (система' $\xleftrightarrow{\text{процес}}$ зовнішнє середовище)» для підтримання управлінського рішення щодо сталого розвитку.

ЛІТЕРАТУРА

1. Пригожин И.Р. Порядок из хаоса / И.Р. Пригожин, И. Стенгерс. — М.: Наука, 1986. — 432 с.
2. Коваль А.В. Модель сценарно-целевого подхода при построении информационно-аналитической системы / А.В. Коваль, Ю.Д. Бойко, Е.А. Зайцева // Системный анализ и информационные технологии: материалы 16-й Междунар. научно-техн. конф. SAIT-14. — К.: УНК «ИПСА» НУТУ «КПИ», 2014. — С. 105–106.
3. Горбань И.И. Энтропия неопределенности / И.И. Горбань // Математичні машини і системи. — 2013. — № 2. — С. 105–117.
4. Вечірська І.Д. Про дослідження властивостей лінійних логічних перетворень / І.Д. Вечірська, Ю.П. Шабанов-Кушнарєнко // Системи обробки інформації. — 2007. — Вип. 8 (66). — С. 130–133.
5. Голян Н.В. Алгебро-логические модели конструкций неявного выбора в бизнес-процессах / Н.В. Голян, Ю.П. Шабанов-Кушнарєнко // Системи обробки інформації. — 2011. — Вип. 8 (98). — С. 275–278.
6. Xinghao Wang. Editorial: environmental informatics for environmental planning and management / Wang Xinghao // Journal of Environmental Informatics. — 2007. — N 9 (1). — P. 1–3.
7. Kumari J. Entropy change as influenced by anthropogenic impact on a boreal land cover – a case study / J. Kumari, A. Govind, A. Govind. // Journal of Environmental Informatics. — 2006. — N 7 (2). — P. 75–83.
8. Jae-Yoon Jung. An entropy-based uncertainty measure of process models / Jae-Yoon Jung, Chang-Ho Chin, Jorge Cardoso // Information Processing Letters. — 2011. — N 111. — P. 135–141.
9. Parvathi Chundi Rui Zhang. Entropy Based Measure Functions for Analyzing Time Stamped Documents, Proceedings of the Fourth Workshop on Text Mining / Parvathi Chundi Rui Zhang // Sixth SIAM International Conference on Data Mining, Hyatt Regency Bethesda, Bethesda, Maryland. — 2006.
10. Голян Н.В. Алгебро-логические модели конструкций неявного выбора в бизнес процессах / Н.В. Голян, Ю.П. Шабанов-Кушнарєнко // Системи обробки інформації. — 2011. — Вип. 8 (98). — С. 275–278.
11. Хакен Г. Синергетика: иерархии неустойчивостей в самоорганизующихся системах и устройствах / Г. Хакен. — М.: Мир, 1985. — 423 с.
12. Козуля Т.В. Информационно программное обеспечение оценки качества и безопасности объектов исследования мониторинговых систем / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова, М.М. Козуля, Я.В. Святкин // International Periodical Scientific Journal "Intelecti". — Tbilisi, 2015. — 3(53). — P.67–72.
13. Козуля Т.В. Формування знань-орієнтованих баз даних для визначення комплексної методики ідентифікації якості складних систем / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова, М.М. Козуля, Я.В. Святкін // Восточноєвропейський журнал передових технологій. — Харьков, 2016. — 1/2 (79). — С. 13–21.
14. Козуля Т.В. Впровадження компараторної ідентифікації для комплексної оцінки рівня безпеки об'єктів / Т.В. Козуля, Н.В. Шаронова, М.О. Білова, М.М. Козуля // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2015. — № 4. — С. 63–73.

Надійшла 09.11.2016

**ОСОБЛИВОСТІ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ЛЮДИНОЮ
ДЛЯ РОЗВ'ЯЗАННЯ СКЛАДНИХ МІЖДИСЦИПЛІНАРНИХ
ПРОБЛЕМ**

В.М. ГОРБАЧУК, О.С. МАКАРЕНКО

Анотація. Проаналізовано особливості прийняття рішень людиною, на які звертали увагу Д. Канеман і В. Сміт. Розглянуто обмеження припущення конструктивістської раціональності, що лежить в основі класичної економічної теорії, коли постулюється раціональність поведінки всіх її учасників, кожному з яких завжди вдається максимізувати свою функцію корисності. Обговорено зв'язки між внутрішнім порядком мислення (тим, як працює розум або мозок) і поведінкою в умовах індивідуального прийняття рішень, соціальної взаємодії, ринкових інституцій. Запропоновано деякі подальші напрями досліджень та постановки, а також можливості нових постановок завдань міждисциплінарної спрямованості, включаючи системний аналіз та моделювання. Наведено результати досліджень з експериментальної економіки зі спостереження виникнення порядку в дослідженнях існуючих ринкових інститутів. Розглянуто конструктивну та екологічну раціональність, нейроекономіку та можливості їх взаємовпливу.

Ключові слова: прийняття рішень, обмежена раціональність, екологічна раціональність, експериментальна економіка, нейроекономіка.

ВСТУП

Сучасні інформаційно-комунікаційні технології дозволяють знаходити рішення, досконаліші за рішення людини [1–3]. Недосконалість людських рішень обґрунтували Д. Канеман (Ізраїль) і В.Сміт (США), які у 2002 р. удостоєні Нобелівської премії в галузі економічної психології та експериментальної економіки. Засадничі недосконалості людських рішень були темою звіту, який Д. Канеман та А. Тверський підготували у 1977 р. для Передової програми технології рішень Агентства США з оборонних передових дослідницьких проектів (Defense Advanced Research Project Agency, DARPA) [4]. Зауважимо, що один з авторів звіту застосовував деякі методи експериментальної економіки для навчання студентів Фізико-технічного інституту (ФТІ) Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» (таке застосування, як і застосування більшості сучасних методів навчання, потребує деякої матеріально-технічної бази).

Оскільки нинішні інформаційні війни застосовують широкий арсенал засобів — від організованих фінансових спекуляцій або хакерських атак до особливостей прийняття рішень людиною, то актуальна тематика прийняття рішень потребує новітніх поглядів і підходів. Перекладам праць Д. Канемана [5, 6] і В. Сміта [7, 8] притаманні ті ж недоліки, що і перекладу 1996 р. книги Ж. Тіроля [9]. Саме тому у 2000 р. з'явився виправлений переклад цієї книги — двотомник [10]. Те, що книга Ж. Тіроля була перекладена вдруге з науковим редагуванням свідчить як про інтерес до індустріальної організації, так і про рівень її складності [11, с. 3]; роль індустріальної організації підкріплений тим фактом, що Ж.Тіроль (Франція) був удостоєний Нобелівської премії 2014 р.

За підтримки Ради молодих учених при Міністерстві освіти і науки України у період 25 травня – 3 червня 2017 р. В. Сміт виступив з лекціями в ряді університетів України (керівник докторської дисертації В. Сміта — Нобелівський лауреат 1973 р. В.Леонтьєв (СРСР, США)). Одну з них відвідав автор цієї публікації. На думку В. Сміта, економіка — це наука про поведінку людей, які формують суспільну та індустріальну організацію. Праці Д. Канемана і В. Сміта відомі не лише економістам або військовим, але й біологам, політологам, фінансистам, менеджерам, психологам, фізіологам [12]. Це свідчить про міждисциплінарне значення експериментальної економіки й економічної психології.

Мета роботи — проаналізувати особливості прийняття рішень людиною, на які звертали увагу Д. Канеман і В. Сміт, та запропонувати деякі подальші напрями досліджень і постановки та можливості нових постановок завдань міждисциплінарної спрямованості, включаючи системний аналіз і моделювання; розглянути конструктивну, екологічну раціональність, нейро-економіку та можливості їх взаємовпливу.

ОБМЕЖЕННЯ КОНСТРУКТИВІСТСЬКОЇ РАЦІОНАЛЬНОСТІ

В основу економічної теорії покладено припущення про раціональність поведінки всіх її учасників, кожному з яких завжди вдається максимізувати свою функцію корисності. Утім професор Школи права Університету Берклі Д. Рубінфельд, автор відомого підручника з мікроекономіки [13] (за яким автори навчали студентів ФТІ), на своїй лекції 12 квітня 2010 р. у Києві визнав, що оцінювати такі функції складно.

Оскільки наші теорії та процеси мислення про соціальні системи включають свідоме й обдумане застосування обґрунтувань, то варто постійно нагадувати собі, що людська діяльність поширюється і керується також не-свідомими, автономними, нейрофізіологічними системами, які дозволяють людям ефективно діяти, не завжди звертаючись до найціннішого ресурсу мозку — мозкової схеми уваги і міркування. Це є важливою ощадливою властивістю роботи нашого мозку. Інакше людина не змогла б витримати тягар осмисленого покрокового моніторингу і планування кожної буденної справи протягом дня. Нобелівський лауреат 1974 р. Ф. фон Хайек (Австро-Угорщина, Великобританія) зазначав: «Якби ми припинили робити все, про що не знаємо пояснення, або про що не можемо дати обґрунтування ... ми, мабуть, незабаром би зникли» [14]. Плануючи певну осмислену дію, людина

не може виразити думками (не тільки словами) все, що вона про цю дію знає чи не знає, але могла б згадати або потребувала б знайти. Наприклад, якщо від покупця в супермаркеті вимагати явної оцінки своїх переваг для кожної комбінації з тисяч бакалійних товарів, доступної за певного бюджету, то це потребуватиме зайвого мозкового напруження покупця. Подібні психічні процеси мають надзвичайно високу альтернативну вартість, позаяк мозок людини неявно розуміє (коли цього не усвідомлює її розум), що не слід брати на себе таку альтернативну вартість, яка не виправдовується виграшем. Теорію сподіваної корисності можна вивчати в мікроекономіці, а також застосовувати для конструктивного моделювання узгодженого вибору. Ця теорія не видається придатною для передбачення (екологічного розуміння) поведінки [15, 16], але видається придатнішою для розуміння поведінки учасників ринку, які підсвідомо максимізують свою корисність [17–19]. Виявилося, що вимірювання ухилення від ризику залежить від типу ринкової інституції чи процедури, що використовується для виведення мір ризику зі спостережень рішень учасників ринку [20]. Є конструктивна утилітарна модель рішення, виграш від якого потребує когнітивних (пізнавальних) витрат [21]: оскільки об'єктивна раціональність не є суб'єктивною раціональністю, то для індивідуума не є оптимальним застосовувати приписи, що вважаються об'єктивно оптимальними. Виклик будь-якої незнайомої дії або проблеми спочатку проявляється переключенням пошуку мозком до свідомої думки, яка знає пов'язане з контекстом рішення. Контекст включає автобіографічну емпіричну пам'ять, яка пояснює нетривіальність контексту, особливо для експериментів з малими групами. Мозок (включаючи всю нейрофізіологічну систему) підключається безпосередньо у випадку знайомих та засвоєних завдань, подібно до гри майстрів у швидкі шахи, виконання маестро П'ятого фортепіанного концерту Бетховена, реакції бейсболістів на швидкі м'ячі, коли обмаль часу для усвідомленого обдумування.

Людині не вдається оволодіти природними механізмами пригадування про мимовільну діяльність і результативність її мозку. Професор психології М.Газзаніга, директор Центру з вивчення розуму при Університеті Каліфорнії у Санта-Барбарі пояснив, чому мозок уводить в оману розум, коли розум вважає, що контролює мозок: «На час, коли ми думаємо, що щось знаємо, – це частина нашого свідомого досвіду – мозок уже виконав свою роботу. Це стара новина для мозку, але свіжа для «нас». Вбудовані у мозок системи виконують свою роботу автоматично і здебільшого поза нашою свідомою думкою. Мозок завершує цю роботу на півсекунди раніше, ніж інформація, яку він обробляє, сягає нашої свідомості... Ми неuki у тому, як це все виконується і втілюється. Ми не плануємо чи виражаємо ці дії. Ми просто спостерігаємо наслідок... Мозок починає охоплювати цей бік «зробленої справи» у своїй роботі через створення у нас ілюзії, що події, які ми переживаємо, трапляються в реальному часі – не раніше нашого свідомого пізнання про рішення щось зробити» [22, с. 63–64]. Це глибоко розумів Ф. фон Хайек як «згубне марносластво». Ідея про здатність набуття навичок започатковується підставою: «Конструктивістська думка робить фатальну «помилку», заплющуючи свої очі, як нас остерігали, на розуміння того, що «не слід розглядати наше обґрунтування на вищому критичному рівні і що поважними є тільки моральні правила, які підтверджуються обґрунтуванням» [14, с. 21].

Більша частина наших оперативних знань не зберігає інформацію про навчання. Ф. фон Хайек зазначає, що «... сучасне вживання англійської мови загалом не допускає дієслова «can» (у сенсі німецького «können» або українського «може»), щоб характеризувати всі ті випадки, у яких індивідуум просто «знає, як» робити річ ... (зокрема) ... здатність діяти відповідно до правил, які ми можемо бути здатними знаходити, але яких нам не треба бути здатними формулювати для того, щоб їх дотримуватися» [23, с. 44]. Природна мова є найскравішим прикладом цього. Подібні приклади дають музика, архітектура і фактично все, що становить еволюційну соціалізацію. Ми навчаємося правил мови й ефективного соціального спілкування без явних директив, а просто через вплив соціальних мереж звичної сім'ї або великої сім'ї, включаючи родичів [24–27]. Таким чином, конструктивістська раціональність має свої обмеження та застереження.

Те, що мозок здатний до мимовільного підсвідомого навчання, показується експериментами з хворими на амнезію, яким задають новий урок. Ці особи навчаються добре виконувати завдання уроку, але не зберігають пам'ять про те, як вони навчилися виконувати завдання [28].

ЕКОЛОГІЧНА РАЦІОНАЛЬНІСТЬ

Викладене вище веде до такого поняття раціонального порядку, як спонтанна екологічна система, що виникає з культурних і біологічних еволюційних процесів, – виплеканих принципів дій, норм, традицій і «моральності». Хоча багато дослідників визнає, що еволюційні процеси обов'язково коеволюційні (взаємно еволюційні), водночас є заперечення та упередження стосовно цього, виходячи з «культури». При цьому поняття культури виявляється складнішим, ніж поняття біології [29]. Спадкова функція абстрагування може стати бездіяльною, атрофованою чи несправною за відсутності її ініціалізації в еволюційному часовому режимі для мозкової схеми бачення, мови та соціалізації. Коеволюційність цих процесів підтверджується дослідженням близнюків [30]. Деконструктивісти вважають, що ці дослідження виявляють багато звичайних статистичних проблем даних та ідентифікації [31], а також потребу позитивного ревізійного аналізу. «Моральність» стосується будь-якого принципу згуртованої суспільної поведінки, який пройшов випробування часом, і виділяється базовими табу провідних світових релігій: не можна 1) красти, 2) жадати власності інших, вчиняти 3) вбивство, 4) перелюбство чи 5) неправдиве свідчення. Принципи 1) і 2) захищають права власності на продукт праці іншої особи та всі ресурси, нагромаджені такою працею, уможливаючи виникнення розвиненого ендогенного порядку думки через ринки. Заповіді 3)–5) захищають святість суспільної взаємодії – зовнішній порядок думки. Водночас ці помірні обмеження залишають величезний простір для свободи, що виражається їх наслідком — золотим правилом моральності «Не роби іншим того, чого не бажаєш собі»; за М. Ганді, єдиний спосіб жити — це давати жити іншим [32, с. 81]. Екологічна раціональність використовує смисл (раціональне пояснення) для: а) перевірки поведінки індивідуумів, основаної на їх досвіді та повсякденних знаннях, які намагаються застосовувати конструктивістські засоби для прийняття своїх рішень; б) розуміння усталеного порядку у куль-

турах людей; в) пошуку можливого інтелекту, втіленого у правилах, нормах та інститутах нашої культурної і біологічної спадщини, створеної у процесі взаємодії людей, а не згідно з обдуманим планом. Люди дотримуються правил без здатності висловлювати їх, але зі спроможністю виявляти їх індуктивно [33]. На це звернули увагу шотландські філософи, які окреслили та пояснили спостережуваний ними соціально-економічний порядок.

Шотландський філософ Д. Юм (1711–1776), вивчаючи межі смислу й людського розуміння, реалістичніше визначав можливості декартового конструктивізму: раціональність – це явище, яке виявляє смисл в усталених інститутах, а «правила моральності ... не є висновками (нашого) смислу» [34, 35]. Ці ідеї розробляв Г. Саймон (США) [36, 37], удостоєний Нобелівської премії 1978 р. за піонерські дослідження процесу прийняття рішень економічними організаціями. Шотландський економіст А. Сміт (1723–1790) розвивав ідею усталеного порядку для економіки [38]. Істина виявляється у формі інтелекту, втіленого у правилах і традиціях, що споконвіку формувалися у процесі соціальних взаємодій людей. Це дає антитезу до антропоцентричної думки про те, що функціональність деякого спостережуваного суспільного механізму означає свідоме використання кимось колись певного обґрунтування для створення такого механізму, спрямованого на досягнення осмислених бажаних цілей [39]. За культурної і біологічної еволюції порядок виникає з процесів породження мінливості, до яких застосовуються механізми відбору. Обґрунтування потрібне для забезпечення мінливості, а не відбору [40]. Конструктивізм є рушієм породження мінливості, але мало підходить до досягнення і застосування всіх досліджуваних фактів і до ролі процесу відбору, який краще вважати екологічним.

Шотландська філософська традиція виявила через експериментальну економіку спостереження усталеного порядку у численних дослідженнях існуючих ринкових інститутів, такого як неперервний подвійний аукціон (Continuous Double Auction (CDA)). CDA — це механізм взаємодії покупців і продавців певного товару, а також визначення цін, за яких відбуваються торгові угоди. У будь-який момент часу торговці можуть розміщувати кінцеві замовлення у формі заявок купівлі (bids) та заявок продажу (asks). Видані заявки зберігаються у реєстрі (order book). Торговці можуть у будь-який час розмістити ринкову заявку негайної купівлі чи негайного продажу за ринковою ціною, яка визначається набором заявок у реєстрі. Торгові угоди здійснюються тоді, а) коли надходить нове кінцеве замовлення, а найвища ціна заявки купівлі не менша за найвищу ціну заявки продажу, або б) коли надходить нове ринкове замовлення, а реєстр містить заявки, які можна пов'язати з цим ринковим замовленням. Мимоволі експериментальна економіка дала наукову методологію об'єктивної перевірки гіпотез Д. Юма та А. Сміта, відповідаючи на зауваження Нобелівського лауреата 1976 р. М. Фрідмана (США) до теорії Ф. фон Хайєка про походження суспільних правил. Нобелівський лауреат 1993 р. Д. Норт (США) і Нобелівська лауреатка 2009 р. Е. Остром (США) досліджували втілені в усталених соціально-економічних інституціях розумність і дієвість, за допомогою яких вдається чи не вдається вирішувати проблеми зростання й управління ресурсами [41–44]. Д. Норт, Е. Остром, інші історики й економісти багато дізналися з «природних» екологічних експериментів. Подібно до «невидимої» руки А. Сміта

в цих експериментах люди керуються сприянням груповому добробуту, досягаючи реалістичних соціальних цілей, а не ідеалістичних особистих. Цей знайдений принцип підтримується сотнями експериментів (на подвійних аукціонах, закритих торгах, опублікованих пропозиціях (posted offers, PO) тощо), оточення та інституції яких можуть виходити за межі теоретико-ігрового аналізу при побудові прогнозних моделей. Водночас такі експерименти не виходять за межі функціональної спроможності колективів, які складаються з неповністю інформованих людей, які приймають рішення і чий автономні алгоритми мислення координують їхню поведінку за допомогою інституційних правил (соціальних алгоритмів), щоб поліпшувати вимірювані результати роботи.

Визнання та дослідження дій невидимих процесів істотні для поліпшення нашого розуміння соціальних явищ, дозволяючи нам виходити за антропоцентричні обмеження конструктивізму.

Як екологічна, так і конструктивістська раціональність впливала на планування та інтерпретацію експериментів в економіці. Коли люди за певних умов приймають рішення, що суперечать формальній теорії раціональності, то замість висновку про їхню ірраціональність можна з'ясувати обставини таких рішень, перевіряти усталені гіпотези, включаючи всі характеристики експерименту (процедури, виграші, зв'язки, приписи тощо), і запитувати, які нові поняття й експериментальні конструкції можуть нам допомагати глибше розуміти людську поведінку. Важливо розуміти сприйняття суб'єктами проблеми, яку вони намагаються вирішити.

Д. Юм та А. Сміт вважали, що розуміння людських рішень потребує наукових знань поза традиційною економікою. Економіка застосовує фактично одну модель — оптимізаційну модель за ресурсних обмежень, інституційних правил і припущень про поведінку інших (скажімо, поведінку в рівновагах Курно–Неша (Cournot–Nash)). Щоб вийти за межі цих традиційних технічних методів моделювання, хороший економіст є, насамперед, хорошим науковцем: «Економіст, який є лише економістом, не може бути хорошим економістом. Ще більше, ніж для природничих наук, для суспільних наук вірно те, що навряд чи існує конкретна проблема, яка може бути адекватно вирішена на основі єдиної спеціальної дисципліни» [23, с. 267]. Це видно у недавніх дослідженнях нервальної кореляції стратегічної взаємодії з використанням функціональної магнітно-резонансної томографії (Functional Magnetic Resonance Imaging (fMRI)) [45]. Ці можливості дозволяють вивчати нейрокореляцію намірів («читати думки»), перевіряти гіпотези про інформацію, вибір, порівняння власного результату з результатами інших при визначенні інтерактивної поведінки. Професор К. Маккейб, який виконував свою пост-докторську роботу у Д. Норта, назвав такі дослідження нейроекономікою.

Класична й експериментальна економіка, право, психологія дають багато прикладів інтерактивної поведінки. Безособистий обмін через ринки, спираючись на навчання у ході експериментів і польових спостережень, розрізняє конструктивну й екологічну раціональність та постачає інформацію спостережень для навчання. Особистий обмін, зокрема гра двох осіб у розширеній формі, виявляє недоліки конструктивістських моделей з передбаченням поведінки в однокрокових іграх анонімно об'єднаних суб'єктів.

РИНКОВІ ІНСТИТУЦІЇ ТА РЕЗУЛЬТАТИ

Теорія некооперативної конкурентної рівноваги (Competitive Equilibrium, CE) Курно–Неша зазвичай висувала дві передумови досягнення CE. За першою передумовою всі учасники (гри) потребують повної («досконалої») інформації про рівняння, що задають CE. Крім того, ця інформація є всім відомим фактом (common knowledge): усі мають знати, що всі знають, що всі знають, що вони мають цю інформацію. Тоді всі учасники мають спільні очікування щодо CE, а їхня поведінка має вести до CE. За другою передумовою, що угалньоє першу, учасники є лише ціноотримувачами (price takers) на ринку.

Перша передумова про повну, спільну чи досконалу інформацію не є змістовною: немає теореми, що наявність такої інформації (в учасників) достатня для досягнення CE, а відсутність такої інформації гарантує недосягнення CE. Якби така теорема існувала, то допомагала б планувати експерименти з досягнення чи недосягнення CE. Зазначена передумова — це наслідок інтроспективної помилки теоретиків, яким потрібна повна інформація для обчислення CE: для учасників ця передумова може бути не так важлива, як для теоретиків. Ця передумова не стосується того, як наявність або відсутність інформації впливає на досягнення чи недосягнення CE. Ця передумова свідчить про неявне припущення теоретиків, що їхніми конструктивістськими моделями керуються учасники. Щоб розуміти мотиви поведінки учасників, слід будувати моделі процесів, якими учасники рухаються від своїх початкових обставин і знань, використовуючи алгоритми інституції, до своїх оновлених обставин і знань, досягаючи або не досягаючи передбаченої рівноваги. Про складність рівноважного моделювання CDA свідчить нечисленність відповідних публікацій [46–48]. Для вдосконалення аналізу Курно–Неша вводилося нестандартне припущення про відсутність перенавантаження, яке дає ефективність і кінцеву конкурентну клірингову ціну [46]. Уводилися стандартні припущення про всім відомі факти (кількість покупців (продавців), кожний з яких має нееластичний попит (нееластичну пропозицію) одиниці продукту та лінійні за виграшем переваги, нейтральність до ризику (без ефектів багатства), оцінки учасників мають спільний розподіл), щоб кожний учасник був здатний обчислювати рівноважні стратегії та вибирати рівновагу як усім відомі факти [48, с. 411]. При цьому всі учасники вважаються теоретиками-конструктивістами, що навряд чи припускають у застосуваннях теорії ігор для CDA. Модель [48] породжує таку власну проблему, як виродженість ендшпілью, коли залишаються тільки один покупець та один продавець, які можуть торгувати. Водночас такий ендшпіль не є проблемою для учасників, бо покупці і продавці з недосконалою інформацією продовжують намагатися торгувати, встановлюючи деяку ціну. Додаткові торговці забезпечать альтернативну вартість ендшпільних обмежень на ціну. Пропонується відмовлятися від обмежень декартового конструктивізму: «Однак найсуттєвіші хиби — це невідворотні наслідки теоретико-ігрових постановок» [48, р. 411]. Організаторам і так званим «найвним» суб'єктам експерименту важко уявити, як їхній мозок без особливих зусиль вирішує проблему врівноваження, взаємодіючи з іншим мозком через інститути CDA, закриті торги, РО тощо. Щоб це збагнути, не обов'язково моделювати реальний світ.

Для вивчення поведінки ціноотримувачів важливо знати, хто встановлює ціну. Якщо ціну встановлює аукціоніст за Вальрасом, то ця поведінка виявляється неефективною [49].

Сотні експериментів, починаючи з 1960-х років, показують, що повна інформація не є обов'язковою для досягнення СЕ на основі саморегульованої взаємодії між поведінкою учасників і правилами обміну інформацією та контрактів у різних інститутах, особливо у СДА [19, 50–53]. З'ясовано, що механізм СДА роздрібного ціноутворення збігається швидше, ніж РО [54]. Ефективніший механізм СДА не витісняє РО, бо підготовка ефективного посередника з кожного роздрібного продавця дорого коштуватиме фірмі. Інститути відображають тонку структуру альтернативної вартості, а втрати ефективності обміну при РО повністю покриваються розподільною продуктивною ефективністю за рахунок інновації масовості роздрібною торгівлі, починаючи з 1880-х років, яка вела до централізації цінової політики. Така політика видозмінюється в Інтернеті, де ціни можна налаштовувати до характеристик альтернативної вартості покупців, наприклад, до кількості відвідувань веб-сайтів [55]. Інституційні зміни у відповідь на інновації (наприклад, на організацію масової роздрібною торгівлі) — це частина виникнення екологічно раціональної рівноваги. Повної інформації може бути недостатньо для досягнення СЕ (на малих вибірках), бо повна інформація за певних обставин гальмує або припиняє збіжність до СЕ [56, 57].

Важливий компонент посталою порядку, спостережуваного у ринкових експериментах, походить від інституту, а не лише від гаданої раціональності індивідуумів [58, 59]. Ефективність обов'язково є спільним продуктом інституту та поведінки учасників. Показано, що на ринку подвійного аукціону з єдиним товаром ефективність є високою для учасників-роботів, які мають нульовий природний інтелект і кожний з яких обирає заявки купівлі чи продажу цілком випадково серед усіх беззбиткових для учасника заявок [59]. Отже, учасники, які не є раціональними конструктивістами, що прагнуть максимізації своїх прибутків, і які не використовують алгоритмів навчання чи оновлення, дістають більшість можливих соціальних вигравів торгівлі, використовуючи інститут СДА. Цей приклад свідчить, що «надіндивідуальні структури, у яких індивідуумам відкриваються величезні можливості ... (та які) ... можуть брати до уваги більше фактичних обставин, ніж це можуть відчувати індивідууми, і, як наслідок ... у певних сенсах є вищими чи «мудрішими», ніж людський розум» [14, р. 77].

Неясно, чи результати [58] узагальнюються на постановки з множинними ринками. Проте результати [58] підтверджуються у досить простому середовищі двох ринків однакового товару, розділених у часі [60]. Виникає складна цінова динаміка, зокрема динаміка фінансових «бульбашок», з невеликою втратою ефективності (у середньому від 94% до 88%).

У разі торгівлі на множинних ринках у нелінійних взаємозалежних середовищах попиту максимальна готовність кожного індивідуума платити за одиницю товару А залежить від ціни товару В, і навпаки (товари А і В є диференційованими [61]); у такій складнішій економіці ринки подвійних аукціонів також збігаються до вектора цін та обсягів торгів СЕ. Вивчався приклад двох товарів з нелінійними функціями попиту (функціями виграшу, що мають постійну еластичність заміщення (Constant Elasticity of Substitution

(CES)) та лінійними функціями пропозиції [62–64]. В експериментах для цього прикладу серед студентів-бакалаврів поширювалися числові таблиці, основані на інформації про переваги і витрати, що дає значення загальної рівноваги з розв'язання чотирьох нелінійних рівнянь, куди входять дві невідомі ціни та два невідомі торгові обсяги. Вони купують і продають одиниці кожного з двох товарів у послідовних торгових періодах. Після кількох періодів ціни і торгові обсяги збігаються до СЕ, визначеної нелінійними рівняннями, хоча суб'єкти торгівлі не мають уявлення про математичне розв'язання цих рівнянь. Для пошуку опорної СЕ експериментатор застосовує засоби конструктивістського обгрунтування, але у повторюваній грі такий же розв'язок виникає з мимовільного порядку, створеного суб'єктами, які торгують за правилами ринкового інституту CDA. Інші численні експерименти з багатьма одночасними взаємозалежними ринками виявляють подібні результати збіжності [19, 65].

Незважаючи на розбіжності між економістами і психологами, вони мають багато спільних засадничих поглядів. Покладаючись на конструктивізм, вони визначають ступінь раціональності чи ірраціональності ринку (наприклад, CDA) на основі виключно раціональності чи ірраціональності його учасників. На довгому шляху досягнення рівноваги експериментальні ринки активів утворюють «бульбашки» і зазнають крахів [66–68].

НЕЙРОЕКОНОМІКА

На противагу з розглянутими вище підходами зовсім недавно з'явилась нова галузь у дослідженні економічних процесів — нейроекономіка. Нейроекономіка займається вивченням зв'язків між внутрішнім порядком мислення (тим, як працює розум або мозок) і поведінкою в умовах індивідуального прийняття рішень, соціальної взаємодії, ринкових інституцій. Робоча гіпотеза полягає в тому, що мозок розкриває різні, але взаємозалежні адаптивні механізми у конкретних умовах, — механізми досвіду, пам'яті, відчуття. Засоби перевірки гіпотези включають технологію томографії мозку та існування пацієнтів з локалізованими ураженнями мозку, спричиненими конкретно втратою певних розумових функцій.

Прийняття рішень привертає увагу нейробіологів, які вивчають девіантну (ненормальну) поведінку неврологічних пацієнтів з конкретними мозковими ураженнями, такими як пошкодження лобової (вентромедіальної передлобової) частки мозку. Про таких пацієнтів давно відомо, що вони мають проблеми з плануванням і координацією у часі, хоча виявляють нормальні результати за багатьма психологічними тестами [69]. Проводилося ґрунтовне експериментальне вивчення таких пацієнтів для контрольної вибірки [70]. Маючи початковий (умовний) запас 2000 дол, кожний суб'єкт у кожній спробі витягає карту з однієї серед чотирьох довільно вибраних колод А, В, С, D. У колодах А, В кожна карта містить виграш 50 дол, а в колодах С, D — 100 дол. При цьому в колодах С, D є багато випадково розміщених карт з від'ємним виграшем, а в колодах А, В таких карт значно менше. Ця інформація про колоди карт може визначатися шляхом витягування однієї карти у послідовності спроб з підрахунком поточного підсумкового значення виграшу. Результати суб'єкта набагато кращі, коли він навчився надавати пе-

ревагу колодам А, В порівняно з колодами С, D. Для нормальних суб'єктів достатньо 60 спроб, щоб пізнати цю перевагу, але цього не достатньо для суб'єктів з ураженнями мозку. Більше того, пацієнти контрольної вибірки пізнавали цю перевагу раніше, ніж були здатними пояснювати свої дії; крім того, вони виявляли попередні емоційні реакції переваги, вимірювані тестом електропровідності шкіри (skin conductivity test, SCT) у реальному часі (подібний тест застосовують у поліграфі). Проте пацієнти з ураженнями мозку були схильні до вербальної раціоналізації своєї поведінки продовження витягування карт з колод С, D, а деякі типи цих пацієнтів (з ураженою міндалиною (amygdala)) не виявляли відгуку на SCT. Вивчення результатів пацієнтів, які розв'язували завдання складного фінансового планування [71], підтверджують висновки праці [70].

У середині минулого сторіччя проводилися експерименти з поведінки тварин, які показали, що мотивація ґрунтується на відносній або втраченій винагороді (альтернативній вартості [72, с. 38, 49]), а не на абсолютній шкалі значень, породженій мозком. Проводилися експерименти, у яких пацюків тренували бігати за ціллю, мотивованою великою винагородою [73]. Коли винагороду зменшували, то пацюки реагували миттєво, повільніше порівняно з мотивацією малою винагородою. Пацюкам контрольної групи спочатку давали малу винагороду, а потім — більшу; при отриманні великої винагороди такі пацюки бігали швидше, ніж пацюки, яким завжди давали велику винагороду. Аналогічно реагували мавпи на розмір винагороди. Установлено, що нейронна активність орбітофронтальної зони кори головного мозку (над очима) мавп дозволяє їм розрізнити винагороди, безпосередньо пов'язані з тваринними відносними, а не абсолютними перевагами поміж таких винагород, як зерно, яблуко, родзинки (у міру зростання переваг мавп) [74].

Виходячи з реакції вибору, припустимо, що винагорода А має перевагу над В, а В — над С. Тоді нейронна активність більша для А порівняно з В, коли а) суб'єкт споглядає А, В; аналогічно нейронна активність більша для В порівняно з С, коли б) суб'єкт споглядає В, С. Проте активність, пов'язана з В, значно більша у ситуації а), ніж у ситуації б); такого не було б, якби значення А, В, С вимірювалися шкалою заданих властивостей. Отже, значення мотиваційних винагород вимірюються деякою відносною шкалою [74, с. 706].

Ці дослідження мають особливе значення для людей. За теорією проспектів, оцінювання гри залежить від загального стану активу, а також від міопічного враження про альтернативну вартість, виграш або програш відносно поточного стану активів певної людини. При цьому існує асиметрія: програш впливає сильніше, ніж виграш такої ж величини [75]. Показано, що емоційний відгук на результат гри залежить від величини сприйняття та ймовірності результату, а також від втраченого результату [76]: людина краще сприймає отримання нульового виграшу із втраченим результатом 10 дол., ніж отримання нульового виграшу із втраченим результатом 90 дол. Замість альтернативної вартості говорять про контрафактну вартість для врахування іншого можливого варіанта. Отже, здатність людини формувати порівняння альтернативної вартості має важливу нейрофізіологічну базу у схемі її емоцій. Ці принципи використовують у плануванні дослідження fMRI для гемодинамічних реакцій людини як на очікування, так і на отримання грошових виграшів і програшів за невизначеності [77]. Дослідження

[77] виявило значні активації у міндалині та орбітальних звивинах, причому активації збільшувалися з ростом очікуваного виграшу. Були деякі ознаки того, що права півкуля здебільшого активна для виграшів, а ліва — для програшів. Це потребує більш ґрунтового аналізу відображення однакового завдання кожною півкулею окремо.

Порівняння мозкової активації у разі грошових винагород зі зворотним зв'язком заохочення в завданні дихотомічного вибору свідчить про вплив платежів на суб'єктів [78]. Грошові винагороди давали значно вищу активацію орбітофронтальної зони головного мозку та інших суміжних ділянок мозку [79, 80]. Нервові взаємозв'язки індивідуального прийняття рішень узагальнювалися у дослідженні (за допомогою fMRI) поведінки двох осіб за їх стратегічної взаємодії, подібної до ігор довіри в розширеній формі [81].

ВИСНОВКИ

На підставі наведеного в роботі аналізу підходів та їх порівняння доходимо висновку, що стандартні загальновідомі підходи до прийняття рішень потребують подальшого уточнення з урахуванням реальної складної природи людини та процесів прийняття нею рішень, особливо з урахуванням сучасної нейрофізіології (як експериментальної, так і теоретичної). Декартовий конструктивізм передбачає смисл у плануванні правил індивідуальних дій та інституцій, які дають суспільно оптимальні результати у стандартній соціально-економічній моделі. Проте більша частина операційних знань, здатностей приймати рішення та їх виконувати не є усвідомленими. Мозок людини заощаджує ресурси уваги, понятійного та символічного мислення через їх обмеженість, делегуючи більшість функцій прийняття рішень автономним процесам (зокрема емоціям) без потреби усвідомленої уваги. Усталені механізми нейрофізіології (можливо, конструктивістські на початку еволюції) повинні мати властивості виживання, які поєднують альтернативні вартості з викликами довкілля. Такі інстинктивні властивості ведуть до іншої раціональності — екологічної, що впорядковує рішення на основі культурних та біологічних процесів спроб і помилок. Екологічна раціональність дає правила дій, традиції, моральні принципи, які перевіряються власним досвідом і досвідом соціального життя, вбудовуються у права власності за безособової взаємодії та суспільної згуртованості при особистій взаємодії. Для вивчення екологічної раціональності застосовують раціональну реконструкцію (наприклад, принципи взаємності або переваг щодо інших осіб), яка дозволяє досліджувати стійкість, різноманіття, динаміку індивідуальної поведінки, усталеного порядку у людській культурі та соціальних інститутах. Реконструкція висуває експериментальні гіпотези.

Вивчення конструктивістської та екологічної раціональності посідає важливе місце в експериментальній економіці, де будуються прямі тести для спостереження наслідків економічних і теоретико-ігрових гіпотез. Але чимало експериментів виходить за межі економічної теорії або теорії ігор, коли наслідки відповідних тестів не збігаються з очікуваними. Тоді для наукового пошуку слід використовувати інші наукові дисципліни [82]. При цьому в галузі теорії прийняття рішень слід ширше застосовувати методи нейронаук [83, 84].

ЛІТЕРАТУРА

1. Горбачук В.М. Суспільні та університетські зміни від Третьої до Четвертої промислової революції / В.М. Горбачук // *Classic university in the context of challenges of the epoch* (September 22–23, 2016, Kyiv). — Kyiv: T.Shevchenko Kyiv National University, 2016. — С. 215–216.
2. Горбачук В.М. Глобальні інвестиції у майбутній людський капітал / В.М. Горбачук // *Глобальні та національні проблеми економіки*. — 2016. — Вип. 13. — С. 633–638.
3. Горбачук В.М. На порозі Четвертої промислової революції / В.М. Горбачук // *Причорноморські економічні студії*. — 2016. — Вип. 8. — С. 216–220.
4. Kahneman D. Intuitive prediction: biases and corrective procedures. Technical report RTR-1042-77-6 / D. Kahneman, A. Tversky. — Eugene, OR: Decision Research; A Branch of Perceptronics. Arlington, VA: Office of Naval Research; DARPA, 1977. — 44 p.
5. Канеман Д. Принятие решений в неопределенности: правила и предубеждения / Д. Канеман, П. Словик, А. Тверски. — Х.: Ин-т прикладной психологии «Гуманитарный Центр», 2005. — 632 с.
6. Канеман Д. Думай медленно ... Решай быстро / Д. Канеман. — М.: АСТ, 2016. — 656 с.
7. Смит В. Конструктивистская и экологическая рациональность в экономической теории / В. Смит // *Эковест*. — 2006. — Вып. 5. — № 4. — С. 536–617.
8. Smith V.L. Constructivist and ecological rationality in economics / V.L. Smith // *Les Prix Nobel 2002*. T. Frängsmyr (ed.). — Stockholm: Nobel Foundation, 2003. — P. 502–561.
9. Тироль Ж. Рынки и рыночная власть: теория организации промышленности / Ж. Тироль. — СПб: Экон. шк., 1996. — 745 с.
10. Тироль Ж. Рынки и рыночная власть: теория организации промышленности / Ж. Тироль. — СПб: Экон. шк., 2000. — Т. 1. — 384 с.; Т. 2. — 592 с.
11. Горбачук В.М. Методи індустріальної організації. Кейси та вправи. Економіка та організація виробництва. Економічна кібернетика. Економіка підприємства / В.М. Горбачук. — К.: А.С.К., 2010. — 224 с.
12. Горбачук В.М. Нейрофізіологія прийняття рішень людиною / В.М. Горбачук, О.С. Макаренко // VII Конгрес Українського товариства нейронаук. — К.: Ін-т фізіології ім. О.О.Богомольця НАН України, 2017. — С. 82.
13. Піндайк Р.С. Мікроекономіка / Р.С. Піндайк, Д.Л. Рубінфельд. — К.: Основи, 1996. — 646 с.
14. Hayek F. The fatal conceit / F. Hayek. — Chicago, IL: University of Chicago Press, 1988. — 194 p.
15. Tversky A. Rational choice and the araming of decisions / A. Tversky, D. Kahneman / *Rational choice*. R.M.Hogarth, M.W.Redder (eds.). — Chicago, IL: University of Chicago Press, 1987. — P. 167–192.
16. Gigerenzer G. Simple heuristics that make us smart / G. Gigerenzer, P.M. Todd. — NY: Oxford; ABC Research Group, 1999. — 432 p.
17. Smith V.L. Papers in experimental economics / V.L. Smith. — Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1991. — 828 p.
18. Smith V.L. Bargaining and market behavior / V.L. Smith. — Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2000. — 474 p.
19. Plott C. Equilibrium, equilibration, information and multiple markets: from basic science to institutional design / C. Plott // *Nobel Symposium* (December 4–6, 2001). Behavioral and experimental economics. — Grand Hotel Saltsjöbaden, 2001. — 52 p.

20. *Berg J.* Risk preference instability across institutions: a dilemma / J. Berg, J. Dickhaut, K. McCabe. — Minneapolis, MN: Carlson School of Management, University of Minnesota. — Working paper. — 1994. — P. 4209–4214.
21. *Smith V.L.* Monetary rewards and decision cost in strategic interactions / V.L. Smith, F. Szidarovszky // *Models of a man: essays in memory of Herbert A. Simon.* M. Augier, J. March (eds.). — Cambridge, MA: MIT Press, 2002. — P. 169–182.
22. *Gazzaniga M.S.* The mind's past / M.S. Gazzaniga. — Berkeley, CA: University of California Press, 1998. — 263 p.
23. *Hayek F.A.* Studies in philosophy politics and economics / F.A. Hayek. — Chicago, IL: Chicago University Press. 1967. — 356 p.
24. *Pinker S.* The language instinct / S. Pinker. — New York, NY: William Morrow, 1994. — 494 p.
25. *Kagan J.* The emergence of morality in young children / J. Kagan, S. Lamb. — Chicago, IL: University of Chicago Press, 1987. — 374 p.
26. *Kagan J.* Galen's prophecy / J. Kagan. — New York, NY: Basic Books, 1994. — 376 p.
27. *Fiske A.P.* The structures of social life: the four elementary forms of human relations / A.P. Fiske. — New York, NY: Free Press, 1991. — 500 p.
28. *Knowlton B.* A neostriatal habit learning system in humans / B. Knowlton, J. Mangels, L. Squire // *Science.* — 1996. — 273. — P. 1399–1402.
29. *Pinker S.* The blank slate / S. Pinker. — New York, NY: Viking, 2002. — 528 p.
30. *Segal N.* Entwined lives / N. Segal. — New York, NY: Plume, 1999. — 396 p.
31. *Goldberger A.* Heritability / A. Goldberger // *Economica.* — 1979. — 46. — P. 327–347.
32. *Горбачук В.М.* Втрата ефективності в рівновагах Неша / В.М. Горбачук, Н.І. Гаркуша // *Математичне моделювання в економіці.* — 2013. — 3. — С. 79–89.
33. *Hume D.* A treatise of human nature / D. Hume. — London, UK: Penguin Books, 1985. — 688 p.
34. *Г'юм Д.* Трактат про людську природу / Д. Г'юм. — К.: Всесвіт, 2003. — 552 с.
35. *Simon H.* The sciences of the artificial. 3-rd edition / H. Simon. — Cambridge, MA: The MIT Press, 1996.
36. *Саймон Г.* Науки об искусственном / Г. Саймон. — М.: Мир, 1972. — 142 с.
37. *Сергієнко І.В.* Індуктивна математика / І.В. Сергієнко, А.М. Гупал // *Вісн. НАН України.* — 2002. — № 5. — С. 19–25.
38. *Smith A.* The theory of moral sentiments / A. Smith. — Indianapolis, IN: Liberty Classics, 1982. — 412 p.
39. *Zavertanuy V.* Genotype dynamic for agent neuroevolution in artificial life model / V. Zavertanuy, A. Makarenko // *Системні дослідження та інформаційні технології.* — 2017. — № 1. — С. 75–87.
40. *Zywicki T.J.* Posner, Hayek, and the economic analysis of law / T.J. Zywicki, A.B. Sanders // *Iowa law review.* — 2008. — 93. — P. 559–603.
41. *North D.C.* Structure and change in economic history / D.C. North. — New York, NY: Norton, 1981. — 240 p.
42. *Норт Д.* Інституції, інституційна зміна та функціонування економіки / Д. Норт. — К.: Основи, 2000. — 198 с.
43. *Ostrom E.* Governing the commons / E. Ostrom. — Cambridge, UK: Cambridge University Press, 1990. — 298 p.
44. *Остром Е.* Керування спільним / Е. Остром. — К.: Наш час, 2012. — 400 с.
45. *McCabe K.* A functional imaging study of cooperation in two-person reciprocal exchange / K. McCabe, D. Houser, L. Ryan, V.L. Smith, T. Trouard // *Proceedings of the National Academy of Sciences.* — 2001. — 98. — P. 11832–11835.

46. *Friedman D.* On the efficiency of double auction markets / D. Friedman // *American economic review*. — 1984. — 74. — P.60–72.
47. *Wilson R.B.* On equilibria of bid-ask markets / R.B. Wilson // *Arrow and the ascent of modern economic theory*. G.Feiwel (ed.) — New York, NY: NYU Press, 1987. — P. 375–414.
48. *Wilson R.B.* Design of efficient trading procedure / R.B. Wilson // *The double auction market: institutions, theories, and evidence*. J.Friedman, J.Rust (eds.). — Reading, MA: Santa Fe Institute Studies in the Sciences and Complexity; Addison-Wesley, 1993. — P. 125–152.
49. *Bronfman C.* An experimental examination of the Walrasian tatonnement mechanism / C. Bronfman, K. McCabe, D. Porter, S. Rassenti, V.L. Smith // *RAND journal of economics*. — 1996. — 27. — P. 681–699.
50. *Smith V.L.* An experimental study of competitive market behavior / V.L. Smith // *Journal of political economy*. — 1962. — 70. — P. 111–137.
51. *Smith V.L.* Microeconomic systems as an experimental science / V.L. Smith // *American economic review*. — 1982. — 72 (5). — P. 923–955.
52. *Davis D.* *Experimental economics* / D. Davis, C. Holt. — Princeton, NJ: Princeton University Press, 1993. — 584 p.
53. *Kagel J.* *Handbook of experimental economics* / J. Kagel, A. Roth. — Princeton, NJ: Princeton University Press, 1995. — 744 p.
54. *Ketcham J.* A comparison of posted-offer and double-auction pricing institutions / J. Ketcham, V.L. Smith, A. Williams // *Review of economic studies*. — 1984. — 51. — P. 595–614.
55. *Deck C.* Tracking customer search to price discriminate / C. Deck, B. Wilson // *Economic inquiry*. — 2006. — 44 (2). — P. 280–295.
56. *Smith V.L.* *Experimental economics: induced value theory* / V.L. Smith // *American economic review proceedings*. — 1976. — 66. — P. 274–279.
57. *Smith V.L.* Relevance of laboratory experiments to testing resource allocation theory / V.L. Smith // *Evaluation of econometric models*. J.Kmenta, J.B. Ramsey (eds.) — NY: Academic Press, 1980. — P. 345–377.
58. *Gode D.K.* Allocative efficiency of markets with zero-intelligence traders: market as a partial substitute for individual rationality / D.K. Gode, S. Sunder // *Journal of political economy*. — 1993. — 101 (1). — P. 119–137.
59. *Sunder S.* Market as artifact: aggregate efficiency from zero intelligence traders / S. Sunder // *Models of a man: essays in memory of Herbert A. Simon*. — Cambridge, MA: MIT Press, 2002. — P. 501–520.
60. *Miller R.* Don't let your robots grow up to be traders: artificial intelligence, human intelligence, and asset-market bubbles / R. Miller // *Journal of economic behavior and organization*. — 2008. — 68 (1). — P. 153–166.
61. *Gorbachuk V.M.* Cournot–Nash equilibria and Bertrand–Nash equilibria for a heterogeneous duopoly of differentiated products / V.M. Gorbachuk // *Cybernetics and systems analysis*. — 2010. — Vol. 46. — № 1. — P. 25–33.
62. *Smith V.L.* Experimental methods in the political economy of exchange / V.L. Smith // *Science*. — 1986. — 234. — P. 167–173.
63. *Williams A.* Simultaneous trading in two competitive markets: an experimental examination / A. Williams, V.L. Smith, J.O. Ledyard. — Bloomington, IN: Department of Economics; Indiana University, 1986. — P. 167–173.
64. *Williams A.* Concurrent trading in two experimental markets with demand interdependence / A. Williams, V.L. Smith, J.O. Ledyard, S. Gjerstad // *Journal of economic theory*. — 2000. — 16. — P. 511–528.
65. *Plott C.* Research on pricing in a gas transportation network. Technical report 88-2 / C. Plott. — Washington, DC: Office of Economic policy; Federal Energy Regulatory Commission, 1988. — 27 p.

66. *Smith V.L.* Bubbles, crashes and endogenous expectations in experimental spot asset markets / V.L. Smith, G. Suchanek, A. Williams // *Econometrica*. — 1988. — 56. — P. 49–51.
67. *Porter D.* Stock market bubbles in the laboratory / D. Porter, V.L. Smith // *Applied mathematical finance*. — 1994. — 1. — P. 111–127.
68. *Dufwenberg M.* Bubbles and experience: an experiment / M. Dufwenberg, T. Lindqvist, E. Moore // *American economic review*. — 2005. — 95 (5). — P. 1731–1737.
69. *Damasio A.R.* *Descartes error: emotion, reason, and the human brain* / A.R. Damasio. — NY: Putnam, 1994.
70. *Bechara A.* Deciding advantageously before knowing the advantageous strategy / A. Bechara, H. Damasio, D. Tranel, A.R. Damasio // *Science*. — 1997. — 275. — P. 1293–1295.
71. *Goel V.* A study of the performance of patients with frontal lobe lesions in a financial planning task / V. Goel, J. Grafman, J. Tajik, S. Gana, D. Danto // *Brain*. — 1997. — 120. — P. 1805–1822.
72. *Горбачук В.М.* *Фінансові методи* / В.М. Горбачук. — К.: Альтерпрес, 2002. — 175 с.
73. *Roelofs O.* The subjective duration of time-intervals: the influence of order in the estimation of duration of two successive intervals / O. Roelofs, W.P.C. Zeeman // *Acta psychologica*. — 1949. — 6. — P. 126–177.
74. *Tremblay L.* Relative reward preference in primate orbitofrontal cortex / L. Tremblay, W. Schultz // *Nature*. — 1999. — 398. — P. 704–708.
75. *Kahneman D.* Prospect theory: an analysis of decision under risk / D. Kahneman, A. Tversky // *Econometrica*. — 1979. — 47. — P. 263–291.
76. *Mellers B.A.* Decision affect theory: how we feel about risky options / B.A. Mellers, A. Schwartz, K. Ho, J. Ritov // *Psychological science*. — 1997. — 8. — P. 423–429.
77. *Breiter HC.* Functional imaging of neural responses to expectancy and experience of monetary gains and losses / HC. Breiter, I. Aharon, D. Kahneman, A. Dale, P. Shizgal // *Neuron*. — 2001. — 30. — P. 619–639.
78. *Thut G.* Activation of the human brain by monetary reward / G. Thut, W. Schultz, U. Roelcke et al. // *NeuroReport*. — 1997. — 8. — P. 1225–1228.
79. *Schultz W.* Multiple reward signals in the brain / W. Schultz // *Nature reviews: neuroscience*. — 2000. — 1. — P. 199–207.
80. *Schultz W.* Getting formal with dopamine and reward / W. Schultz // *Neuron*. — 2002. — 36. — P. 241–263.
81. *Fletcher P.* Other minds in the brain: a functional imaging study of «theory of mind» story comprehension / P. Fletcher, F. Happe, U. Frith et al. // *Cognition*. — 1995. — 57. — P. 109–128.
82. *Згуровский М.З.* Цифровая наука в программе «Горизонт 2020» / М.З. Згуровский, А.И. Петренко // *Системні дослідження та інформаційні технології*. — 2015. — № 1. — С. 7–20.
83. *Makarenko A.* Multiscale and applied system analysis of a brain activity. I. General description / A. Makarenko // *Algebras, groups, and geometries*. — Palm Harbor, FL: Hadronic Press. — 2015. — Vol. 32. — N 4. — P. 449–460.
84. *Кришталь О.* Наука та мистецтво: дві ноги для поступу. Інавгураційна лекція почесного професора Національного університету «Києво-Могилянська академія». — К.: НаУКМА, 2017. — 24 с.

Надійшла 24.07.2017

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ ВИЗУАЛЬНАЯ 3D+ ПОЛИГЛОТ-КОНЦЕПЦИЯ ПРОГРАММИРОВАНИЯ БЕЗ ЯЗЫКОВ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

И.В. ВЕЛЬБИЦКИЙ

Аннотация. Предложена простая, интеллектуальная и математически строгая концепция программирования ориентированными графами из только горизонтальных дуг, на которых сверху и снизу записываются тексты на любых языках — русском, английском, китайском, математическом и т.д. Математический язык строго определен как часть элементарной математики, которая задает выражения и формулы для записи условий и действий на графических дугах новой концепции и выполнения их на компьютере. Традиционные языки программирования не используются, но их библиотеки (интеллект) сохраняются с возможностью доступа к ним из графических программ с использованием соответствующих функций с параметрами или без. Любая программа из этой библиотеки может быть автоматически переведена в единую новую графическую оболочку. Такой граф является интеллектуальным полиглотом, он может быть 3D+, имеет стандарт ISO 8631/1989, и только один эффективно используется на протяжении всего жизненного цикла процесса разработки, выполнения и эксплуатации программ. В новой концепции используется единый математический (графический) метод для записи алгоритмов, данных, программ и сетевых графиков их разработки, который имеет гораздо лучшие (до 100+ раз) характеристики по наглядности, простоте, компактности, скорости их ввода в компьютер и эффективности полученного в результате компьютерного кода. Приведена история возникновения и проверки новой концепции, описание ее сути, реализованной графической среды программирования и мнение некоторых экспертов и пользователей о преимуществах ее использования.

Ключевые слова: программирование, интеллектуальное, визуальное, полиглот, 3D+, ориентированные графы, только горизонтальные дуги, нагрузка только дуг, любой язык (русский, английский, китайский, математический и т.д.), цвет, чертеж, доказательный стиль, оптимизация, самодокументирование, документирование мотивации, кибербезопасность, большие данные.

ВВЕДЕНИЕ

В 1960-х годах нами впервые был введен термин «технология программирования» [1,2] как интуитивное осознание того факта, что главным является не только язык (в то время Алгол-60), а и как его использовать и писать на нем *грамотно и культурно, легко и просто*. В настоящее время технология программирования включена во все IT-программы обучения. Но программирование стало еще более *сложным, дорогим, недоступным и непонятным*. Сейчас после появления новой нагруженной по дугам графической концепции программирования стало ясно, что причина этому является старая неизменная с 1947 г. и *устаревшая* неграфическая концепция программирования.

В этой концепции используются машинно-ориентированные и неестественные для человека операторы типа: **if-then, else, for, while, goto ...**, **метки**, блочные скобки типа **begin-end, {-} ...**, **отступы** (лесенки), большинство знаков препинания и т.д., которые **все исключены** из новой концепции программирования (рис. 1) и которых слишком много в существующих текстах программ. Такие операторы сложны, маломощны, эмпиричны (строго не определены) и обеспечивают только примитивно-ремесленную технологию работы. Для *нейтрализации* их недостатков пользователь тратит слишком много усилий, создавая огромное количество новых языков, методов и сред программирования, которые якобы упрощают, а на самом деле делают программирование не унифицированным, еще более сложным, запутанным, непонятным и недоступным для всех.

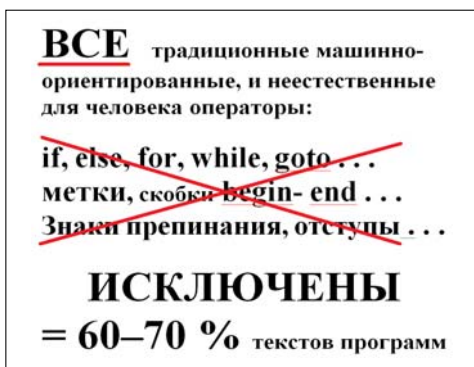


Рис. 1. Существующая с 1947 г. концепция программирования

окончательно сформирована новая, *очень простая* графическая концепция программирования *единая(!)* для задания алгоритмов, программ, данных и сетевых графиков на всем жизненном цикле разработки и эксплуатации программ. Проведен ее всесторонний *анализ*, опытная *реализация(!)* и *эксплуатация* новой графической среды программирования (ГСП) [5–8].

Новая концепция впервые предлагает не писать, а *рисовать* программы в графах, нагруженных *по горизонтальным дугам* символами, выражениями и функциями из элементарной математики. Рисовать *во много раз* проще, быстрее, нагляднее и компактнее, чем писать программу в существующей концепции (в специальных текстовых языках) программирования. При этом используется та же клавиатура, мышь или сенсорный экран и обеспечивается соответствие получаемого рисунка стандарту ISO 8631/1989 [5]. Такие графы и записи на них являются полиглотами, понятными без сложных определений. Они сливаются с известными, строгими математическими принципами представления и обработки информации, которые приближаются к принципам работы мозга. Поэтому *все* специальные языки программирования типа Фортран, C++, JAVA, Python становятся маломощными и ненужными, но сохраняются их библиотеки и специализированные полезные про-

* В математике в теории графов есть только **два** эквивалентных типа графов, которые могут быть использованы в программировании. Это граф, нагруженный по вершинам (например, известные блок-схемы, автоматы Мура), и граф, нагруженный по дугам (сетевые графики, автоматы Мили).

граммы типа **Oracle Database**, разработки **Websites** и т.д. Любая программа из библиотеки на любом языке может быть автоматически переведена в новую графическую форму представления. Благодаря этому упрощается переход на новую концепцию и сохраняется и многократно преумножается опыт программирования.

Новая концепция позволяет записать любой алгоритм, любую программу любым известным методом от структурного до глубокого **интеллектуального анализа информации, обеспечивая кибербезопасность, с использованием** уже готовых специализированных программ и библиотек, которые могут быть объединены в единую графическую **гипербиблиотеку**. Новая концепция вводит в программирование доказательный и безошибочный стиль, самодокументирование и документирование мотивации принимаемых решений, позволяет легко, быстро, **наглядно** и **компактно (!)** нарисовать логическую схему проблемы и решить ее. Принципы новой концепции так просты и естественны, что программирование будет **доступно** не только программистам, а станет элементом всеобщей грамотности и культуры общества.

СУТЬ НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

В новой концепции для записи любых алгоритмов, данных и программ используется только *одна* направленная влево или вправо горизонтальная дуга графа, так называемая *логическая R-схема* или *аксиома* (рис. 2).



Рис. 2. Аксиома новой концепции программирования

На этой дуге сверху записано *Условие*, а снизу — *Действия*, которые выполняются, если Условие «истинно». Для записи на дуге *Условие* и *Действия* в одну или несколько строк используются любые естественные языки (английский, русский, китайский и т.д.), символы, выражения и функции элементарной математики, соответствующие фрагменты из любых языков программирования для записи *Условия* и *Действий* и, прежде всего, функций обращения к библиотекам

этих языков (рис. 3).

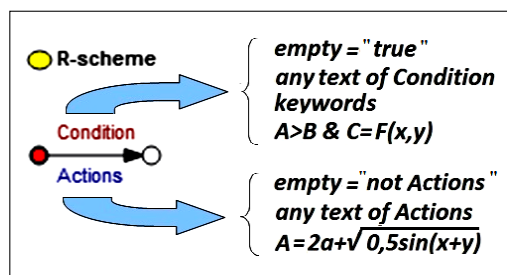


Рис. 3. Запись *Условия* и *Действий* на дуге в одну или несколько строк

Из вершины графа может исходить любое число дуг влево и/или вправо. Для записи графов типа «петли» (рис. 4, слева) используются либо пустая дуга, обозначающая безусловный переход без выполнения каких-либо *Действий*, либо специальная двойная горизонтальная дуга типа «знак равно» между вершинами (рис. 4, справа). Дуги, исходящие из любой вершины, анализируются последовательно сверху вниз. Выполняется первая дуга, у которой *Условие* «истинно». При этом выполняются все *Действия* под этой дугой и осуществляется переход по

стрелке дуги в новое состояние графа (алгоритма, данных или программы). Если все дуги, исходящие из вершины, имеют «ложные» *Условия*, то осуществляется переход по стрелке последней просматриваемой дуги в соответствующее новое состояние графа (программы) без выполнения *Действий*.

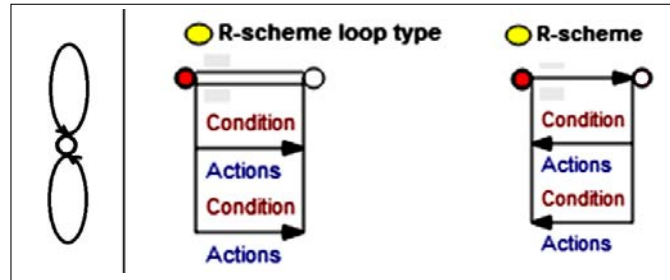


Рис. 4. R-схемы графов типа «петли»

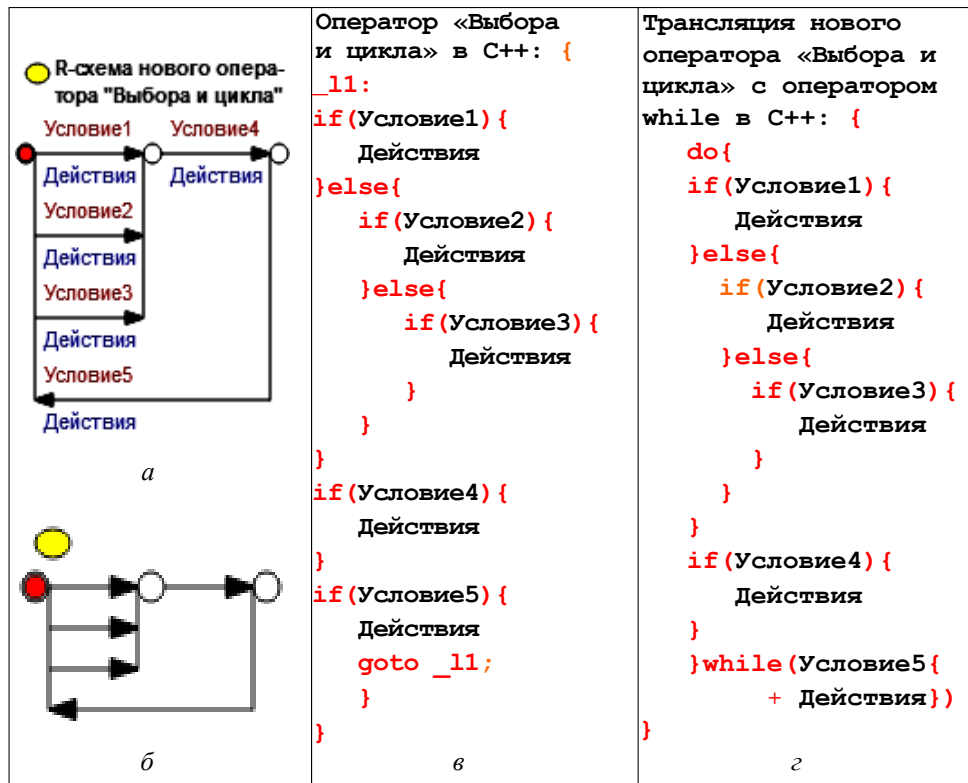


Рис. 5. Запись нового оператора «Выбора и Цикла» в графах и в C++

Пример определения нового оператора: «трех (может быть любое число) Условий и Цикла» показан на рис. 5. На рис. 5, *a* показана его R-схема (11 строк), на рис. 5, *б* — его абстрактная R*-схема (4 строки) или запись R-схемы (алгоритма, программы) без деталей реализации, без записей на дугах, а на рис. 5, *в* — эквивалентная традиционная запись в C++ (24 строки), где красным отмечены лишние символы для R-схемы на

рис. 5, а. А на рис. 5, в их **76** или с отступами и переводами строк **217 (73%)**. Запись R-схемы в **2(24/14)**, а R*-схемы в **6(24/4)** раз компактнее записи их в C++ или R=2 и R*=6 соответственно. Ввод одного (из 10) оператора C++ (рис.5, в) в компьютер занимает в среднем **10(100/10)** кликов клавиатуры, а ввод дуги R-схемы (рис.5, а) занимает **0,8 (4/5)**, что в **13 (10/0,8)** раз меньше, eR=**13** и потому быстрее. Порядок цифр преимуществ новой концепции сохраняется при использовании в соответствующем трансляторе R-схем в ГСП оператора **while** на выходе (рис.5, з). Максимальные известные в настоящее время RR*-схемы программ имеют характеристики: R=**133**, R*=**400** и eR=**578**. Это значит, что они имеют компактность в 133 и 400 раз больше (в 133 и 400 раз имеют меньше строк), а скорость ввода в компьютер быстрее в 578 раз по сравнению с традиционной записью этих же программ в C++

Ввод каждой горизонтальной дуги графа выполняется одним нажатием мыши или клавиатуры или пальца по сенсорному экрану. При одном нажатии может быть введено сразу несколько новых горизонтальных дуг. Вертикальные дуги и вершины графа не вводятся в компьютер и рисуются в ГСП автоматически, что намного упрощает и ускоряет ввод графических операторов (дуг) по сравнению с вводом существующих операторов традиционных языков программирования.

Такой граф имеет имя, которое записывается сверху около желтого эллипса, рис. 2–7. В математике это имя соответствует имени некоторой функции, заданной графически в новой концепции программирования. Для реальных графических программ [9, 10] это имя функции может быть с параметрами или без них, рис. 6, 7. Программа в новой концепции задается любым числом взаимосвязанных по имени таких графов. Первый граф (R-схема) такой программы называется *аксиомой*. Первая слева вершина аксиомы программы всегда выделяется **красным**. В аксиоме задается архитектура соответствующей ООП программы: данные и соответствующие им методы. Если данные простейшие, как на рис. 6, 7, то они задаются традиционным способом: сверху дуги записывается ключевое слово соответствующего класса данных, а под дугой список его идентификаторов. Если данные логически сложные, то они задаются графом, у которого на дуге задаются сами данные (их синтаксис), а снизу семантика (методы) их обработки. Граф задает логическую структуру данных любой сложности..

Графическая ООП-программа, которая в **7 раз компактнее**, чем традиционная запись этой программы в языке Delphi [9], показана на рис. 6, другая ООП-программа, которая в 4 раза более компактна, чем традиционная запись этой программы в C++, R=4, показана на рис. 7 [10, с. 489–491]. Это значит, что в этих программах Условия и Действия записаны на языке Delphi и C++ соответственно. На рис. 6 и 7 первая R-схема (аксиома с **красной** точкой) задает формулу, архитектуру определения соответствующих ООП, а именно, Данные (FIELDS для Delphi и privat для C++) и связанные с ними методы. Далее приведено определение четырех Методов для Delphi и 5+1 public-функции для C++ соответственно.

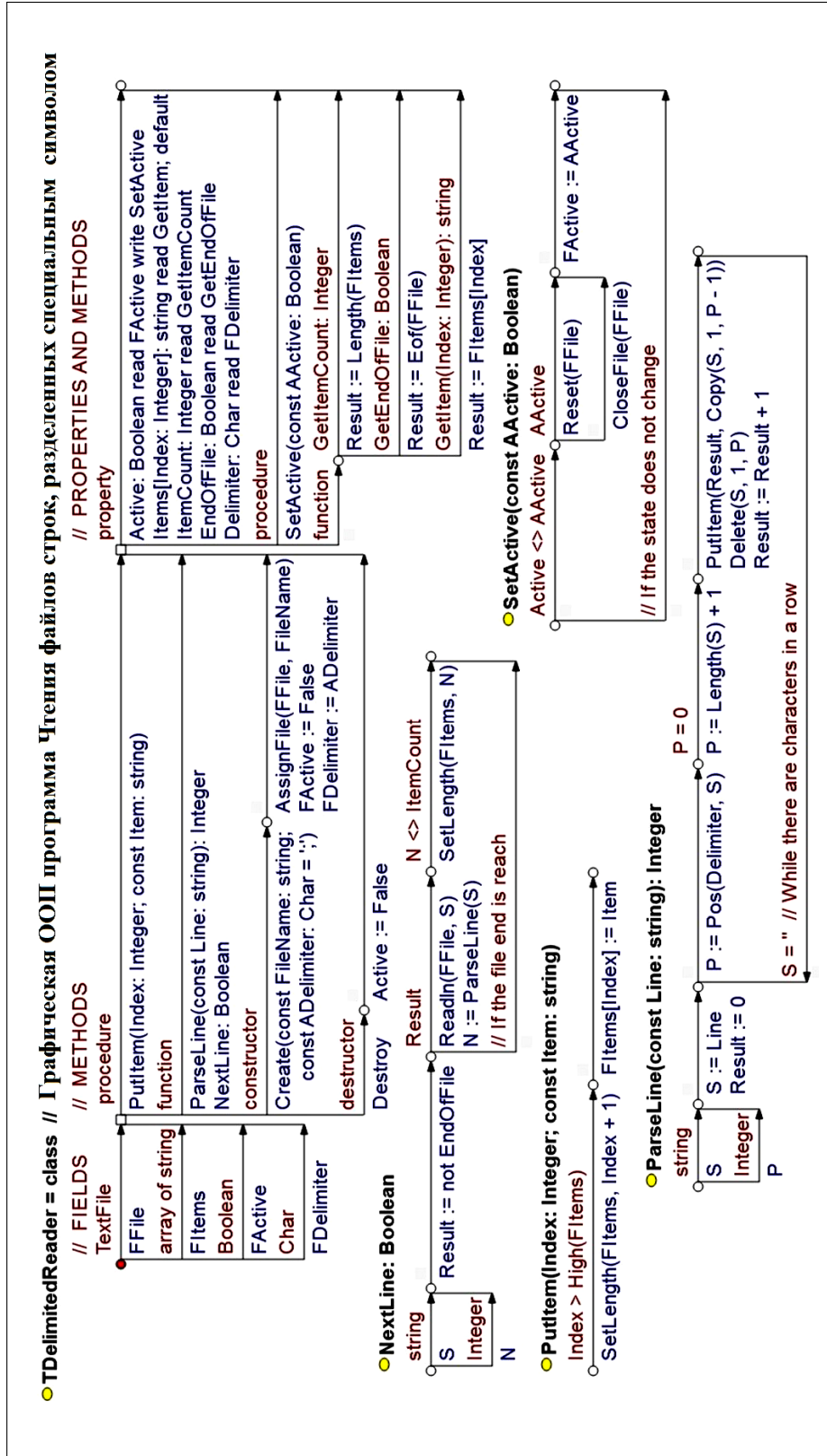


Рис. 6. R-схема ООП-программы

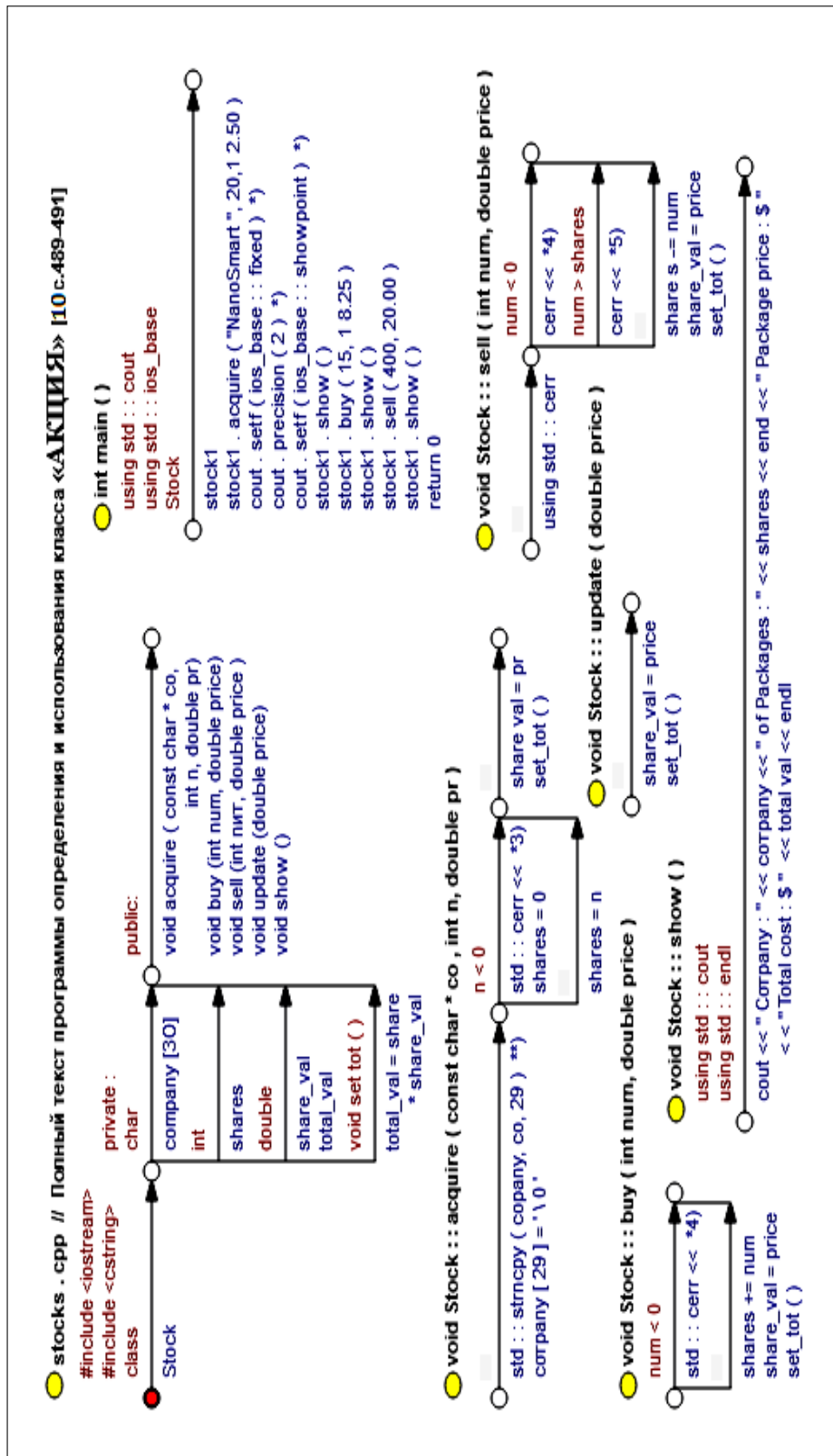


Рис. 7. R-схема ООП-программы «Определения и использования класса АКЦИЯ»

ГДЕ следующие обозначения показаны на рис. 7:

- *) // формат #.## с 2-мя знаками после точки и показом нулей в итоге
- **) // усечь со для помещения в comrapu
- *3) «Количество пакетов не может быть отрицательным; для» << « установлено в 0.\n»
- *4) «Количество приобретаемых(продаваемых) пакетов не может быть отрицательным.» 6*
- *5) «Вы не можете продать больше того, чем владеете!» 6*
- *6) << «Транзакция прервана.\n»

Показанная на рис.7 графическая ООП-программа в С++ иллюстрирует способ записи комментариев и макроопределений после префикса ГДЕ, используемого в математике и потому более естественный, компактный и эффективный по сравнению с записью их в традиционной концепции программирования.

На рис. 8, 9 показаны *абстрактные R*-схемы* программ. *Абстрактная R*-схема* — это запись ее R-схемы без деталей реализации, без записей на дугах, т.е. максимально компактно с изображением только математической логики сути программы. Это новое теоретическое понятие в программировании для компактной записи, *анализа*, графической *сертификации* и *синтеза (оптимизации)* программ по различным критериям: времени, памяти и т.д. Логическая R-схема и абстрактная R*-схема новой концепции являются новой *единой* графической оболочкой (эталон, шаблоном) для записи программ и библиотек программ на всех языках. Это открывает новые возможности объединения интеллекта, сосредоточенного в библиотеках всех существующих языков программирования, и эволюционного их развития вместе с человеком, соответствующим коллективом разработчиков и общества в целом. Такой возможности НЕТ в традиционном программировании.

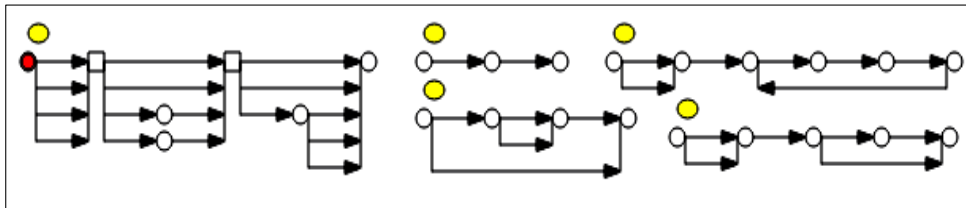


Рис. 8. R*-схема записи программы без деталей реализации и в 36 раз компактнее записи ее в Delphi

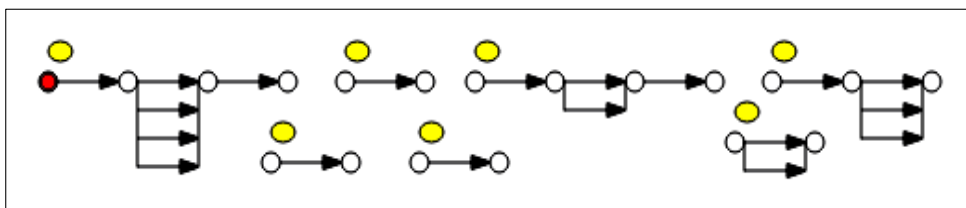


Рис. 9. R*-схема записи программы без деталей реализации и в 32 раза компактнее записи ее в С++

Оба примера на рис. 6–9, иллюстрирующие организацию ООП в различных самых современных ООП-ориентированных языках — C++ и Delphi, записаны программистами, которые использовали все тонкости и особенности этих языков для эффективной записи соответствующих программ. Графическая запись этих программ свидетельствует об эффективности (преимущество) RR*-схем, т.е. простоты, понятности, наглядности, компактности и самодокументированности графов программ. Такое преимущество [10] подтверждает общую эффективность предлагаемой новой графической полиглот-концепции программирования. Новая графическая концепция позволяет также *объективно* (!) и количественно сравнить два новых языка, выяснить, какой язык лучше, например, Delphi, Java или C++, дополнительно сравнить количественные характеристики абстрактной R*-программы из $10 \times 10 = 100$ дуг на рис.10, которая компактнее C++ в $R = 15$, $R^* = 45$ раз и вводится в компьютер в $eR = 138$ раз быстрее, а R-схема из 100×100 дуг имеет $R = 133$, $R^* = 400$ и $eR = 578$. Новая концепция является *полиглотом*, потому что используемые в ней математика и графика интернациональны и лучше воспринимаются человеком, чем существующие искусственные языки программирования.

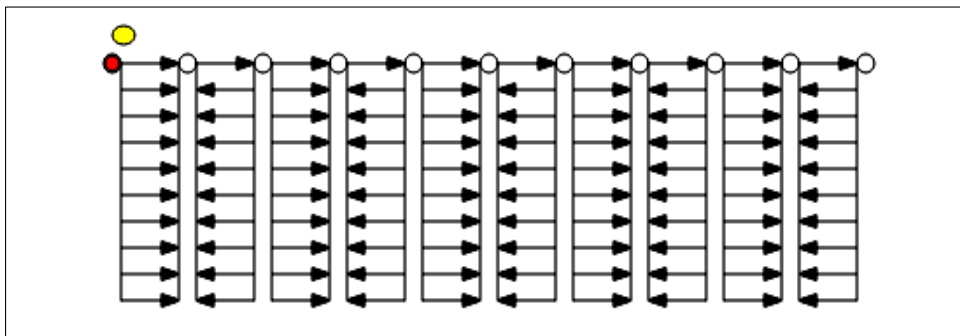


Рис. 10. Ввод R-схемы (программы) из $10 \times 10 = 100$ дуг: $R = 15$, $R^* = 45$, $eR = 138$ по сравнению с C++

Для задания структур и классов данных, методов ООП, функций настройки в новой концепции используются *ключевые* слова типа: **int**, **array**, **class**, **table**, **function**, **#include <iostream> ...**, которые записываются на дуге сверху и всегда истинны (см. рис. 6, 7). Эти дуги обычно *безальтернативны*, независимы друг от друга и могут выполняться *параллельно* в соответствии с ключевым словом на дуге. Используемая в них информация является, как правило, вспомогательной и служит для нейтрализации недостатков традиционной концепции программирования и упрощения процессов трансляции в ней. В графическом программировании эту информацию можно просто получить из контекста R-схемы и потому со временем может быть исключена из графического программирования полностью или частично, как это произошло в математике. На рис. 6, 7 она сохранена. Принцип сохранения изображен на рис. 7 при определении нового класса «АКЦИЯ» и традиционной записи этой же информации в языке C++ (рис. 11) [10, с. 489].


```

// stocks.cpp – полный текст программы
#include <iostream>
#include <cstring>
class Stock // объявление класса
{
private :
    char company[30];
    int shares;
    double share_val;
    double total_val;
    void settot () { total_val = shares * share_val;
public :
    void acquire (const char * co, int n, double pr);
    void buy (int num, double price);
    void sell ( int num, double price);
    void update (double price);
    void show ();
};
        и т о г о : R=(17/13) R*=(17/4)=4,3
    
```

Рис. 11. Листинг10.3. Полный текст программы stocks.cpp

Сложные структуры данных могут непосредственно задаваться в графическом виде R-схем (рис. 12). В этом случае на дуге сверху записывается элемент логики или синтаксиса данных, а снизу – соответствующая семантика [2]. RR*-схемы эффективно используются для записи алгоритмов «от данных», например, трансляторов (рис. 12). Пример задания в R-схемах табличных данных показан на рис. 13.

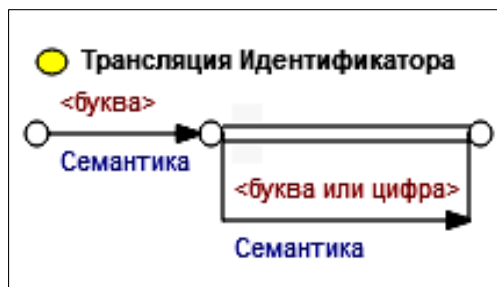


Рис. 12. Задание структур данных

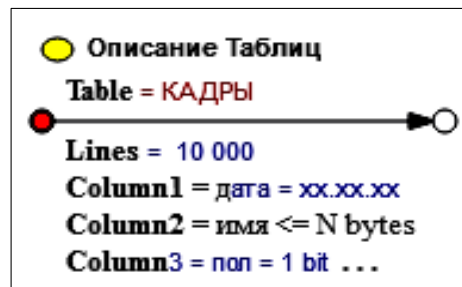


Рис. 13. Задание табличных данных

Вершины и дуги графа могут иметь различную конфигурацию и цвет, (рис. 4–15). На рис. 6, 8 квадратной вершиной отмечены дуги, которые могут выполняться параллельно, а на рис. 16 вершиной в виде параллелограмма изображен принцип 3D и многомерное выполнение графических программ, а прямоугольная вершина (типа поплавков, на рис. 14), например, может запоминать число обращений к ней и иметь порог чувствительности в своей работе аналогично работе мозга у человека, чего нет в традиционном программировании. На рис. 4, 12, 17, 18 используется конфигурация дуги в виде знака «равно» для наглядного изображения

графа типа «петли» и т.д. Цвет вершин широко используется для реализации светофоров в программе (рис. 14, 15), а цвет в дугах — для наглядного обозначения, например, маршрутов автоматической генерации тестов программ (рис. 14) и т.д.

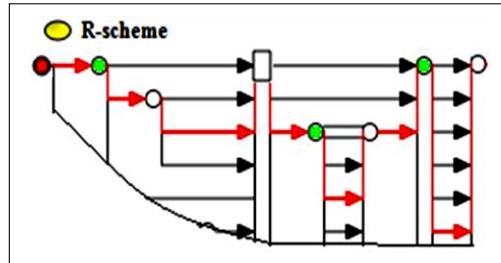


Рис. 14. Задание табличных данных

Цвет вершин и дуг может легко осуществляться (задаваться) из программы, например, функция **GREEN= green(...)** на рис. 15 *c, d*. Это новая возможность, отсутствующая в традиционном программировании или сложно моделируемая традиционными средствами. В новой концепции впервые появилась возможность естественно и просто документировать мотивацию принимаемых решений, программировать параллельно различные части проекта программ, автоматически генерировать функционально-полный набор тестов, проводить отладку программ параллельно с разработкой программ параллельно и т.д. На рис. 15 продемонстрирована еще одна новая (отсутствующая в традиционном программировании) возможность *автоматической оптимизации* R*-схем по их не оптимальной, но полученной в результате более простой процедуры проектирования R-схемы: «SPIDER» Cycle →.

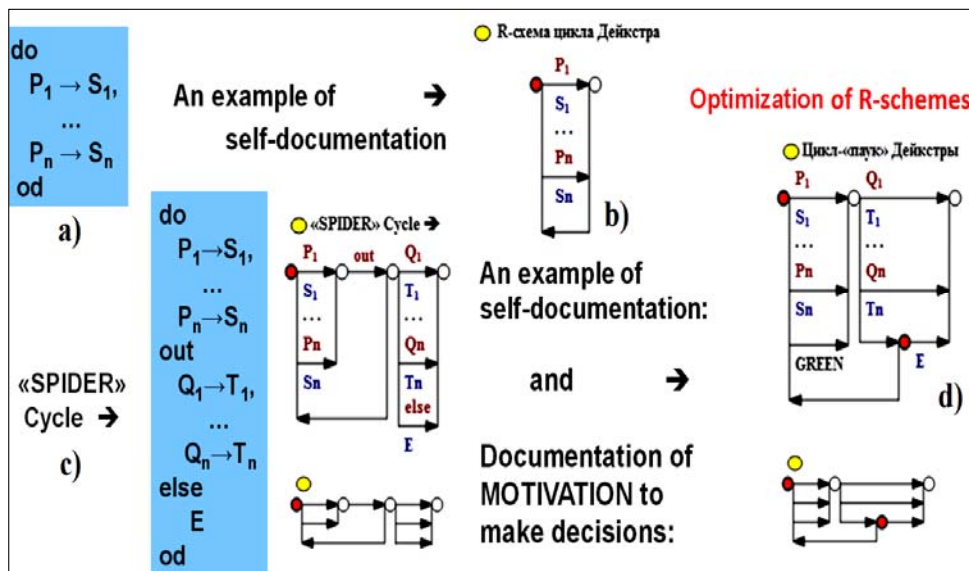


Рис. 15. Охраняемые команды Дейкстры и оптимизация графических программ с использованием «светофора» на последней вершине R-схемы

В теории построения аппаратуры самого компьютера на логических интегральных схемах используются автоматы Мили и Мура, которые зада-

ются графами, нагруженными по дугам (рис. 17, 18), что открывает новые большие перспективы построения компьютеров с новой гибкой архитектурой, задаваемой соответствующими графическими программами (R-схемами) и с аппаратной реализацией соответствующих библиотек. Все это позволяет значительно упростить и ускорить программирование и увеличить уровень киберзащищенности, технологичности и автоматизации разработки графических программ в таких компьютерах.

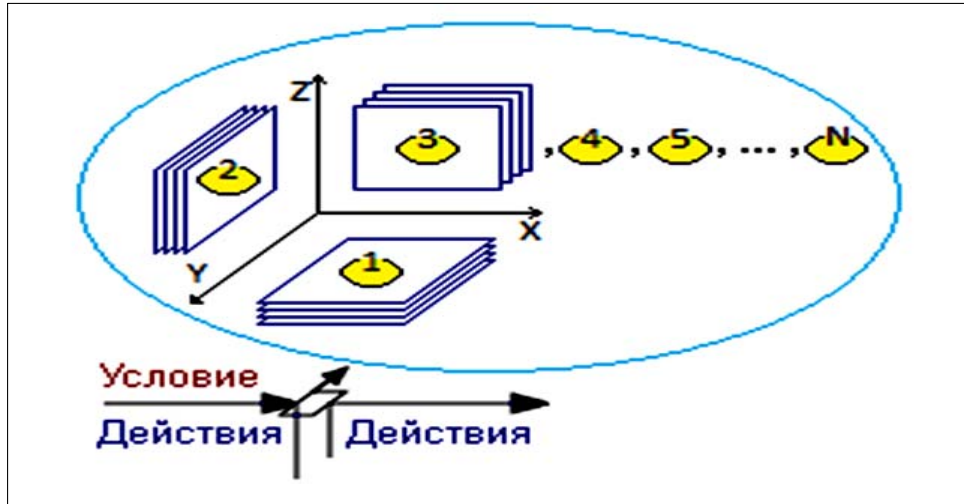


Рис. 16. Организация 3D программирования

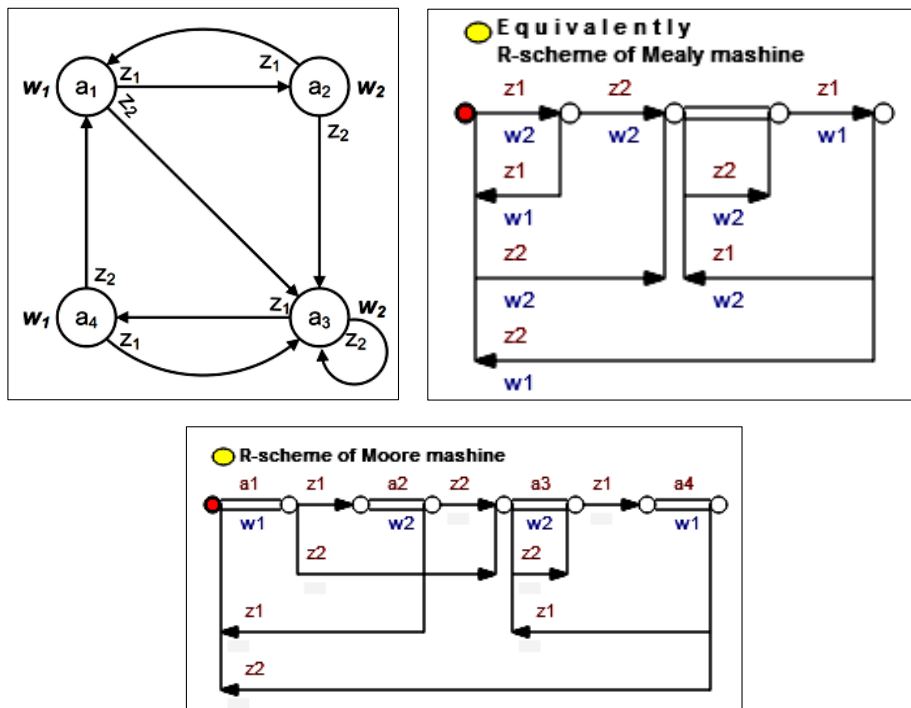


Рис. 17. R-схема автоматов Mealy and Moore

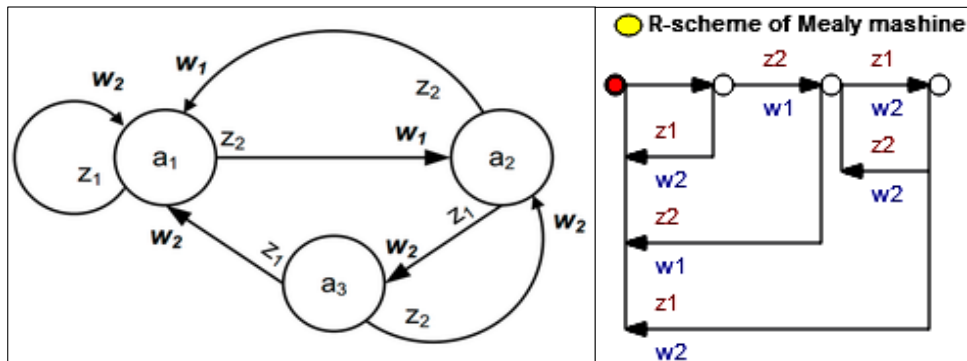


Рис. 18. R-схема автомата Mealy

На всем жизненном цикле новой концепции чертеж проекта программы совпадает с самой программой, документацией и *сетевым графиком* разработки (рис. 19). Руководитель работ **впервые** может около каждой работы (проекта программы) на дуге R-схемы записать в особых скобках имя исполнителя, расчетное время ее выполнения и *проконтролировать* качество выполняемых работ. Такого нет в существующем программировании и промышленности, где, например, чертеж (документация) автомобиля *отличается* от самого автомобиля и сетевого графика его разработки.

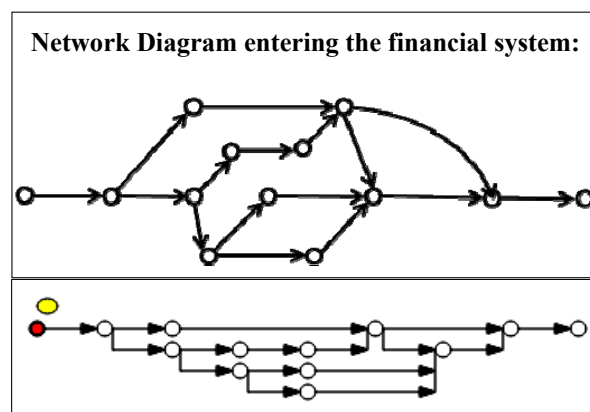


Рис. 19. Запись в R*-схеме сетевого графика ввода в эксплуатацию финансовой системы

Графическая форма записи имеет большие резервы по развитию в будущем. Для записи вершин, дуг и записей на них может использоваться цвет. Вершины и стрелки дуг могут иметь разную конфигурацию, а дуги быть двойными, волнистыми, пунктирными и т.д.

НОВАЯ КОНЦЕПЦИЯ И ГРАФИКА В СУЩЕСТВУЮЩЕМ ПРОГРАММИРОВАНИИ

Человек всегда стремится найти графический образ любым своим действиям. Известно огромное число графических способов записи программ в виде графов, нагруженных по вершинам: блок-схемы, UML, Workflow, SDL, ДРАКОН, Google BLOCKLY и др. (см. рис. 20а, 21, 22 (слева)). Для таких

графических программ всегда на заключительных этапах используются традиционные языки программирования, которые вручную (не автоматически) преобразуют графическую запись программы в обычную текстовую запись в этом языке.

R-схемы — это графы, нагруженные по дугам (рис. 20, б, в, 21, 22 (справа)), которые имеют количественные и качественные преимущества. Они *выполнимы*(!) на компьютере на всем жизненном цикле (без использования языков-посредников), более просты, универсальны (не содержат сложных профилей), эффективны (более мощны), наглядны и компактны. Для их записи и обработки в компьютере не нужны существующие языки программирования.

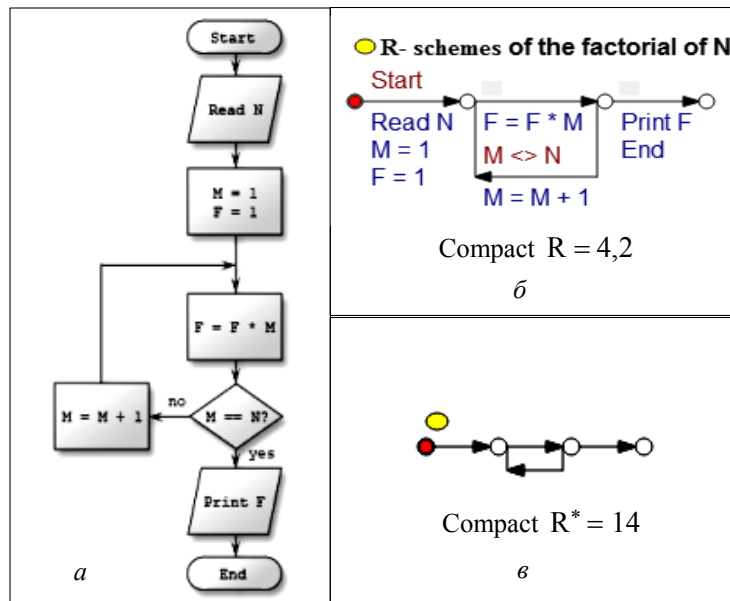


Рис. 20. Пример записи алгоритма вычисления Факториала числа N в блок-схемах (а) и в RR*-схемах (б, в)

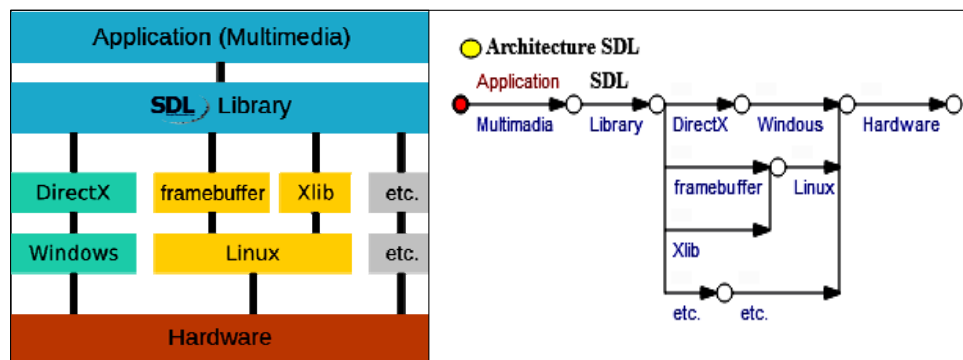


Рис. 21. R-схема Workflow архитектуры SDL

Таким образом, в новой концепции для всех языков – естественных, математики и программирования – предлагается единая графическая оболочка. Запись программ и их проектов в этой оболочке, а также их трансляция и интерпретация становятся проще. Программа (R-схема) впервые является

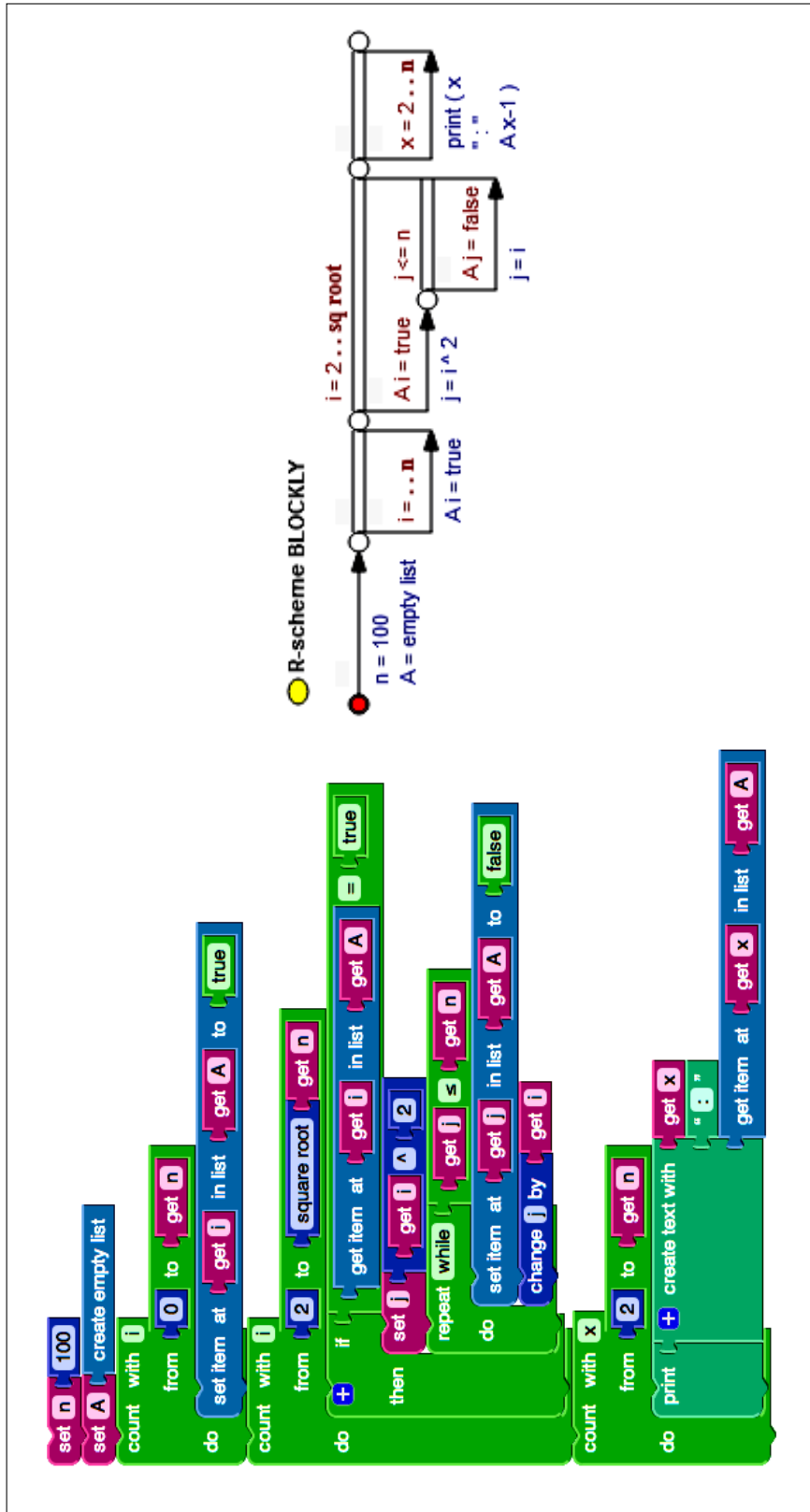


Рис. 22. Пример записи программы в визуальном языке программирования Google Blockly [11] и в R-схеме (компактность R=3, R*=14)

объектом математики и для человека(!), а не только для компьютера. RR*-схемы идеальны для *обратной* (такого нет в традиционном программировании) трансляции программ на любых языках в новую единую графическую оболочку как эталон. В результате программа из «вещи в себе», понятной только автору (не всегда доступному), становится прозрачной для развития другими, а весь процесс программирования становится простым, эволюционным с сохранением и накоплением опыта в унифицированной графической библиотеке. Поэтому в новой концепции программирования, как и в математике, нет необходимости строить постоянно новые языки и среды программирования, а есть возможность неограниченного совершенствования графической знаковой системы обозначений и обработки информации с сохранением ранее накопленного опыта программирования.

БЕЗОШИБОЧНЫЙ И ДОКАЗАТЕЛЬНЫЙ СТИЛЬ ПРОГРАММИРОВАНИЯ В НОВОЙ КОНЦЕПЦИИ

Традиционная концепция проектирования алгоритма (программы) на компьютере основана на построении вычислительной схемы решения исходной задачи с использованием уже готовых библиотек и с помощью около десяти фиксированных, текстовых, машинно-ориентированных и неестественных для человека, строго не определенных операторов (команд) типа **if**, **for**, **while** и т.д. Исходная задача преобразуется под возможность записи алгоритма (программы) в этих операторах. В результате сложного многоступенчатого процесса проектирования алгоритмов и программ исходная задача преобразуется «до неузнаваемости», в нее вводятся новые элементы, меняется связь между ее элементами и мотивацией принимаемых решений, теряется понимание, почему так сделано и как это работает. Для упрощения этого процесса придумывают многочисленные языки, методы и среды, что еще больше запутывает и усложняет процесс программирования. Существующие сложные большие программы, записанные в традиционной концепции программирования, постоянно отлаживаются, поэтому процесс программирования сложный и дорогой.

Новая концепция проектирования основана на построении графической логической R-схемы исходной задачи в естественном языке, терминах и словах формулировки постановки задачи. Для этого используется метод «step by step from logic». В процессе такого построения выявляются и уточняются все основные неточности в постановке задачи. В результате логическая R-схема исходной задачи становится одинаково понятной исполнителю и заказчику и *утверждается (подписывается)* ими. Такая R-схема изначально может быть очень простой и недетерминированной (рис. 23).

После этого построение проекта алгоритма и программы осуществляется формальными методами математического вывода в ГСП. Графическая среда программирования следит и направляет человека таким образом, чтобы формальные преобразования исключали из исходной логической R-схемы все неоднозначности понимания и превращали ее в язык *естественный для человека* (как правило, в R-графический язык простейшей математики) и далее автоматически без человека – в язык компьютера. В результате

последовательность преобразований исходной R-схемы автоматически запоминается в ГСП и является формальным доказательством правильности программы и процесса ее разработки. Автоматически получаемая в ГСП документация отличается от традиционной, так как сохраняет мотивацию (историю) принимаемых решений, более компактна, самодокументирована и содержит абстрактные R*-схемы, которые формально *оптимизируются* (преобразуются) в ГСП по различным критериям — времени, памяти и т.д.

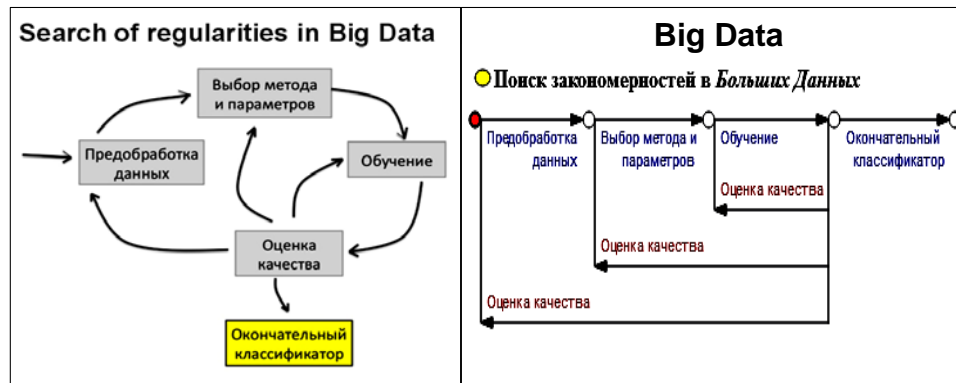


Рис. 23. Пример начала решения в новой концепции сложной проблемы «Поиска закономерностей в BigData»

Естественный язык постоянно совершенствуется и приближается к эффективному профессиональному языку соответствующего коллектива разработчиков проекта графических программ. Язык R-схем такого описания и совершенствования – **один** (см. рис. 2, 3) на всем его жизненном цикле и для компьютера, и для заказчика, и для исполнителей проекта, и для его пользователей. Графический и наглядный язык, используемый в основном в процессе математического вывода и во многом автоматически, при минимальных условиях возникновения ошибок (описок), в среде программистов называется безошибочным, а весь процесс, стиль такого программирования доказательным в отличие от программирования в традиционных текстовых языках.

РЕАЛИЗАЦИЯ ГРАФИЧЕСКОЙ СРЕДЫ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

В настоящее время *реализована* (лабораторный вариант) ГСП логическими R-схемами, которая включает в себя систему ввода логических R-схем и любых текстов на их дугах на любом языке, формирование и запоминание дерева проекта, универсальный графический редактор, преобразователь R-схем в R* и обратно, компилятор RR* в C++ и т.д. Компилятор RR* в C++ сделан простейшим для демонстрации возможности очень простого преобразования графических программ в любую формальную текстовую структуру или в язык компьютера. Все приведенные примеры реализованы в ГСП. Графическая среда преобразования разработана на C++ как плагин ГСП к *Qt Creator* и состоит из пяти областей, которые делят и формируют экран монитора.

Основную (большую, 90%) центральную часть монитора занимает первая область — рабочее поле (РП), на котором осуществляется разработка всех R-схем проекта.

В оставшихся 10%, сверху в трех строках располагаются три области: меню формирования архитектуры среды, панель инструментов из 14 графических иконок и панель открытых (неограниченное число) имен РП R-схем.

Последняя пятая область занимает слева узкую (менее 5%) полосу экрана монитора для хранения *Дерева* R-схем конкретного проекта. Графическая среда реализована по принципу А. Эйнштейна «Любую работу делай так просто, как это возможно, но не проще этого». Она *намного проще* реализации современных сред и трансляторов с традиционных языков программирования. Например, транслятор графических R-схем *гораздо проще и меньше* (ориентировочно в 30+ раз), чем транслятор существующих языков программирования и имеет *более простую и эффективную* инфраструктуру организации вычислений на компьютере. Получаемые компьютерные программы более эффективны по времени выполнения и занимаемой памяти. Главное достоинство реализации новой концепции состоит в том, что сохранился доступ к специализированным инструментам и библиотекам программ традиционных языков программирования.

Реализованная графическая среда обобщила существующий опыт программирования графами, доказывает правильность и эффективность новых принципов программирования и является достаточно полной (по нашим оценкам на 80%) для построения на ее основе коммерческой версии ГСП.

Мнения независимых экспертов и первых пользователей сводятся к такому. Сильная полиглот-концепция программирования проще существующей и может быть использована многими пользователями. Этот новый математический инструмент эффективен для анализа, синтеза и обучения программированию; он увеличивает долголетие и эволюционное использование программ применительно к условиям их эксплуатации; имеет повышенную защищенность от ошибок и высокую отлаженность готовых графических программ. В течении двух недель рисования R-схем в новой среде программирования решается задача, которую без них решить невозможно. Новая концепция — это полезный и продуктивный инструмент не только в программировании, но и везде, где надо найти решение любой логически сложной (запутанной) проблемы. По сравнению с известными Flow-chart, UML. R-схемы имеют ощутимые преимущества. Они выполнимы на компьютере на всем жизненном цикле любых работ, более наглядны, компактны и не загромождены лишними деталями (фигурами). Подходят для визуализации нелинейных алгоритмов (например, классов в C++) или структур данных.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемая новая математическая концепция (культура) программирования отличается простотой, наглядностью, компактностью и возможностью перехода на нее для всех пользователей, а не только для программистов, позволяет включить в программирование доказательный и безошибочный стиль работы, развитые и отработанные веками математические методы

анализа и синтеза. Новая концепция имеет на 1–2 порядка большую компактность записи программ и простоту быстрого ввода информации, особенно через использование сенсорных экранов, что позволяет эффективно применять ее и в малых компьютерных формах (планшетах, Айфонах).

В связи с простотой и наглядностью предложенная концепция может быть включена в систему обязательного начального обучения программированию. Для профессионального программирования эффект от применения новых предложений тем больше, чем логически сложнее и запутаннее решаемая задача.

Главную роль в R-схемах играют *дуги* между вершинами. Количество дуг, их направление, 3D-ориентация между различными вершинами и R-схемами не имеют ограничений. Вершина может запоминать количество обращений к ней и иметь порог чувствительности в своей работе. Новая концепция упрощает процесс современного программирования, достаточно обоснована для новых эффективных применений и реализаций новой гибкой, архитектуры аппаратуры компьютеров, которая напрямую управляется выполняемой программой. Это позволит по новому решать проблемы искусственного интеллекта, кибербезопасности, Big Data и суперсложных программ нового поколения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глушков В.М. Технология программирования и проблемы ее автоматизации / В.М. Глушков, И.В. Вельбицкий // УСИМ. — № 6. — 1976. — С. 75–93.
2. Вельбицкий И.В. Технология программирования / И.В. Вельбицкий // Техника. — 1984. — 279 с.
3. Сергеев В.Г. Главный конструктор систем управления ракет и космических комплексов / В.Г. Сергеев. — X., 2014. — 448 с.
4. Dijkstra E. Letters to the editor: go to statement considered harmful / E. Dijkstra // Communications of the ACM. — 1968. — P. 147–148.
5. Information technology, Programme constructs and convention for their Representation // Standard ISO/IEC 8631. — 1989.
6. McHenry W.K. Technology: A soviet visual programming / W.K. McHenry // Journal of Visual Languages and Computing. —1, N 2. — 1990.
7. Velbitskiy I.V. Graphical Programming and Program Correctness Proof / I.V. Velbitskiy // IEEE: 10.1109/CSIT-13.6710368. — 2013. — P. 85–89.
8. Velbitsky I. Programming without Programming Languages (New Graphic Poliglot Concept) / I. Velbitsky // Application and Theory of Computer Technology (the British kingdom). —2, N.2. — 2017. — P. 26–41. — Available at:
9. <http://www.archyworld.com/journals/index.php/atct/article/view/49>
10. Valvachev A.N. Programming in Delphi / A.N. Valvachev, K.A. Syrkov, D.A. Syrkov. — 2005. — Available at: <http://www.rsdn.ru/article/Delphi/>
11. Prata Stephen. C++ Primer Plus, Fifth Edition, SAMS Indiana, 46240 USA, 1184 p., ISBN 5-8459-1 1 27-3 Moscow. 2007.
12. Cade Metz. Google Blockly Lets You Hack With No Keyboard. — Available at: <https://en.wikipedia.org/wiki/Blockly>

Поступила 07.07.2017

УДК 519.8:502.3
DOI: 10.20535/SRIT.2308-8893.2017.3.10

ОПТИМІЗАЦІЯ СТРУКТУРИ ІНВЕСТИЦІЙНОГО ПОРТФЕЛЯ У ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ НА ПІДСТАВІ ПОПАРНОГО ПОРІВНЯННЯ АЛЬТЕРНАТИВ З УРАХУВАННЯМ РИЗИКУ НЕВИКОРИСТАНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ

Д.В. СТЕФАНИШИН, Ю.Д. СТЕФАНИШИНА-ГАВРИЛЮК

Анотація. Запропоновано метод формування множини ефективних портфелів та вибору оптимальної структури інвестиційного портфеля за критерієм мінімального ризику на підставі попарного порівняння альтернатив з урахуванням ризику невикористаних можливостей. Задача розв'язується на прикладі порівняння за ризиком структур інвестиційних портфелів, які названо базовими, що поєднують в собі три напрями інвестування у природокористуванні та враховують три різні типи ставлення носія рішення до ризику: неохочість, схильність і байдужість до ризику. Показано, що у випадку трьох напрямів інвестування з урахуванням ризику невикористаних можливостей різними способами в контексті врахування психологічної позиції носія рішення щодо ризику загалом і ризику невикористаних можливостей зокрема може бути сформована скінченна множина альтернативних структур ефективних портфелів (альтернатив), серед яких існує оптимальна на підставі попарного порівняння за критерієм мінімального ризику альтернатива.

Ключові слова: альтернатива, інвестиційний портфель, оптимізація, попарне порівняння, природокористування, ризик невикористаних можливостей.

ВСТУП

Важливою вимогою до природокористування в сучасних умовах є його раціоналізація на основі задоволення різних цілей та критеріїв: економічних, соціальних, екологічних. Соціальна стабільність та збереження якості навколишнього середовища щодо використання природних ресурсів стали такими ж важливими для сучасного суспільства, як і отримувані економічні вигоди.

Відповідна стратегія, спрямована на раціоналізацію природокористування, отримала в світі назву концепції «стійкого» (або «сталого») розвитку [1, 2]. Її реалізація передбачає зростання економіки з одночасним поліпшенням екологічної ситуації та вирішенням актуальних соціальних проблем. У цілому концепція сталого розвитку співзвучна з концепцією раціонального ризику в природокористуванні [3, 4], адже обидві виходять з того, що

природокористування так чи інакше обтяжене проблемними ситуаціями, а отже, ризиком, який має враховуватися і мінімізуватися економічними інструментами, новими технологіями та більш складними (системними) рішеннями, зокрема тими, що орієнтуються на комплексне використання природних ресурсів, перерозподіл ресурсів і можливостей і, відповідно, на диверсифікацію ризику на нових умовах — соціальної справедливості та збереження довкілля [1, 2, 5, 6].

Проблемами раціоналізації природокористування, аналізу, оцінювання та врахування ризику в природокористуванні в різні роки займалися такі відомі вчені, як Г.А. Бачинський, М.М. Биченок, П.І. Бідюк, В.В. Вітлінський, А.В. Дончева, І.П. Дрозд, М.З. Згуровський, Ю.Л. Забулонов, А.Б. Качинський, М.О. Клименко, В.Д. Комаров, Л.О. Коршевнюк, О.М. Ларічев, В.А. Легасов, Г.В. Лисиченко, І.І. Мазур, Ц.Є. Мірцхулава, В.Б. Мокін, О.І. Молдаванов, А.А. Музалєвський, Я.С. Наконечний, Н.Д. Панкратова, Б.Н. Порфірьєв, А.Ф. Реймерс, А.Ю. Ретеюм, А.С. Шапкін, Є.О. Яковлев, А.В. Яцик, P.F. Ricci, W. Rowe, P. Slovic, C. Stagt та ін. Серед численних робіт, присвячених проблемам ефективного і водночас безпечного природокористування, слід відзначити праці А.Ф. Реймерса [7], який їх систематизував і окреслив основні напрями їх спільного вирішення через упровадження системи раціонального природокористування, покликаної забезпечити ощадливу експлуатацію природних ресурсів, умови ефективного їх відтворення зі збереженням елементів соціальної стабільності — життя і здоров'я людей, мінімізації екологічних та соціальних втрат.

Ідея мінімізації ризику шляхом його диверсифікації «в портфелі» також не є новою [5, 8]. За своєю суттю вона спрямована на зменшення ризику через розподіл наявних активів (ресурсів, інвестицій тощо) між кількома напрямками діяльності. При цьому вважається, що в результаті диверсифікації портфеля за рахунок деякого оптимального перерозподілу активів між різними його складовими можна досягти істотного зниження загального (портфельного) ризику за незначного зменшення прибутковості, вигідності, корисності прийнятого рішення.

Загальні принципи оптимізації структури портфеля як певної комбінації активів, що складають багатство індивідуума чи фірми, закладені ще Дж. Р. Хіксом [5]. Основи сучасної теорії інвестиційного портфеля були розроблені Г.-М. Марковіцем та розвинені у працях Дж. Тобіна, В.-Ф. Шерпа та ін. [5, 8–12]. Серед праць вітчизняних учених, присвячених аналізу проблем інвестиційного ризику та розробленню методів його зниження шляхом портфельного інвестування, належить відзначити праці П.І. Верченка, В.В. Вітлінського, В.Р. Куляна, А.В. Матвійчука, О.В. Мороза, Я.С. Наконечного, О.М. Рибицької, А.В. Сігала, М.С. Сявавка, О.І. Ястремського та ін. Більшість з отриманих рішень щодо формування оптимальної структури інвестиційного портфеля ґрунтуються на використанні ймовірнісно-статистичних характеристик розподілів прибутковості активів портфеля як випадкових величин, функцій або процесів. Зокрема, класична модель портфеля Г. Марковіца ґрунтується на ідеї, що інвестор як критеріїв оптимальності використовує статистичні характеристики його активів: математичне сподівання для норми прибутку і дисперсію для величини ризику.

ДЕЯКІ ЗАУВАЖЕННЯ ЩОДО ПОРТФЕЛЬНОГО ІНВЕСТУВАННЯ У ПРИРОДОКОРИСТУВАННІ НА СУЧАСНОМУ ЕТАПІ

Як відомо, процес вибору інвестиційного портфеля з оптимальною структурою базується на вирішенні двох основних завдань [5, 8]: 1) визначення множини ефективних портфелів (таких, що можуть влаштовувати інвестора, наприклад, за критеріями дохідності або ризику); 2) вибору серед ефективних портфелів оптимального з урахуванням, у тому числі і суб'єктивного, ставлення інвестора до різних портфелів (насамперед через його ставлення до ризику: схильності, несхильності, байдужості). При цьому множина альтернативних портфелів, серед яких має здійснюватися вибір, може бути незліченною.

Сучасна теорія інвестиційного портфеля ґрунтується на ряді важливих припущень [5, 8, 11], деякі з яких мають критично осмислюватися під час формування інвестиційного портфеля у природокористуванні.

Перше припущення передбачає ефективність ринку, тоді як фундаментальний економічний аналіз вказує на те, що ринок є швидше неефективним [10]. Що стосується природокористування, то важливою його особливістю в сучасних умовах є необхідність при диверсифікації інвестиційного портфеля включення в його структуру, окрім економічної, соціальної та екологічної складових. Соціальна та екологічна складові можуть розглядатися інвестором як неприбуткові, неефективні сфери, затрати на які слід мінімізувати. Оскільки ресурси, що спрямовуються на реалізацію інвестиційних проектів у природокористуванні, обмежені, то будь-які неефективні затрати негативно впливатимуть на хід виконання інвестиційного проекту. Інвестор може не отримати сподіваного економічного ефекту і це надалі позначиться на його пріоритетах в оцінюванні значущості інвестицій у природокористуванні з урахуванням соціально-екологічних факторів.

Друге припущення ґрунтується на тому, що інвестори неохоче сприймають ризик. Однак при цьому не вказується і не аналізується, яку саме складову ризику той чи інший інвестор не сприймає більше — ризик утратити інвестиції (те, що надалі називатимемо системним ризиком), ризик не отримати більшого прибутку, чи деякий сукупний ризик, який може поєднувати обидва ці ризики [13]. Річ у тім, наскільки не отримання деякого гарантованого або більшого прибутку (те, що надалі називатимемо ризиком невикористаних можливостей [3, 5, 6, 9, 10, 13, 14]) також є неприйнятним ризиком для інвестора.

Формуючи інвестиційні портфелі, виходять з того, що інвестори надають перевагу вищій нормі прибутку, а не нижчій. Відповідно, якщо інвестори розглядатимуть соціальну і екологічну складові як такі, що здатні давати додаткові ефекти (наприклад, як це відбувається тепер в альтернативній енергетиці завдяки так званим «зеленим» тарифам), то диверсифікація інвестиційного портфеля із включенням в його структуру, окрім економічної складової, соціальної та екологічної складових буде вважатися ефективним рішенням, навіть за умови більш високих рівнів системного ризику. Якщо альтернатива з меншим системним ризиком більшою мірою буде обтяжуватися ризиком невикористаних можливостей [13, 14], який, відповідно,

зменшуватиме вплив системного ризику на сукупний, це зумовить інвестора приймати більш сміливі рішення щодо природокористування, відповідно до яких соціальна та екологічна складові інвестиційного портфеля отримуватимуть більші можливості.

ЗАГАЛЬНА ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА МЕТА РОБОТИ

Пошук оптимального інвестиційного портфеля значно спрощується для множини ефективних портфелів, кожен з яких може бути оптимальним за того чи іншого критерію ефективності або ставлення інвестора до ризику (схильності, несхильності, байдужості). Якщо дотримуватися припущення, що носій рішення здатний точно формулювати свої пріоритети, задачу вибору оптимального портфеля нескладно формалізувати [15–18].

У випадку формування скінченної множини ефективних портфелів задача вибору серед них оптимального може зводитися до задачі прийняття рішення на підставі попарного порівняння альтернатив, що ще більше спростить її формалізацію.

Нехай існує скінченна множина \mathbf{A} ефективних портфелів (альтернатив), які можуть розглядатися як оптимальні в тому чи іншому сенсі, за тими чи іншими критеріями, правилами чи ознаками [15–18]. Нехай множина \mathbf{A} формується на основі деяких формальних правил, за допомогою яких відображається певне суб'єктивне відношення носія рішення до ризику (несхильність, схильність, байдужість) загалом і до ризику невикористаних можливостей зокрема.

Нехай альтернативи, що складають множину \mathbf{A} , можуть порівнюватися між собою за сукупним ризиком [13, 14] згідно з правилом:

$$d_{\text{opt}} = \{a_{i,\text{opt}} \mid a_{i,\text{opt}} \in \mathbf{A}, \wedge r_{i,\text{opt}} = \min(r_{i,j}, r_{j,i})\} \quad \forall a_i, a_j, i, j = \overline{0, n}, i \neq j, (1)$$

де $r_{i,j}$, $r_{j,i}$ — ризики попарного порівняння альтернатив a_i , a_j , що належать \mathbf{A} , подані у вигляді лінійних комбінацій $r_{i,j} = l_i + g_j$, $r_{j,i} = l_j + g_i$, де l_i , g_i та l_j , g_j невід'ємні значення деяких числових характеристик, що в цілому описують програшні l та виграшні g якості альтернатив a_i , a_j , відповідно.

Як показано у праці [14], у результаті розв'язання задачі (1) у загальному випадку — задачі багатокритеріальної оптимізації на зліченній множині допустимих альтернатив $\mathbf{A} = \{a_i\}$, $i = \overline{0, n}$, відшукується множина оптимальних альтернатив $\mathbf{A}_{\text{opt},r}$ за критерієм оптимального ризику

$$r_{i,\text{opt}} = \min(r_{i,j}, r_{j,i}),$$

$$\mathbf{A}_{\text{opt},u} \text{ за критерієм максимальної корисності } u(a_i)_{\text{opt}} = \max(u_i, u_j)$$

$$\forall (a_i, a_j), i, j = \overline{0, n}, i \neq j, u_i = g_i - l_i, u_j = g_j - l_j.$$

У цьому дослідженні задача пошуку оптимального інвестиційного портфеля в природокористуванні зводиться до задачі формування скінченної множини ефективних портфелів, структури яких мають відображати три напрями інвестування (економічний, соціальний, екологічний) і три типи

суб'єктивного ставлення носія рішення до ризику (несхильність, схильність, байдужість). Далі попарно порівнюються відібрані альтернативи, серед яких згідно з правилом (1) вибирається найкраща (оптимальна).

Мета роботи — презентація методу формування скінченної множини ефективних структур інвестиційних портфелів у природокористуванні, які згідно з принципом раціоналізації природокористування в межах концепції сталого розвитку мають відображати три характерні напрями інвестування (економічний, соціальний, екологічний) і враховувати три характерні позиції носія рішення щодо ризику (несхильність, схильність, байдужість). Практика показує, що врахування суб'єктивного ставлення носія рішення (інвестора) до ризику може відігравати суттєву роль – як у формуванні множини ефективних портфелів, так і у виборі серед них оптимального. Зазвичай це ставлення намагаються виразити за допомогою різного роду коефіцієнтів (несхильності/схильності до ризику), значення яких часто встановлюються досить суб'єктивно (без формального обґрунтування). У праці, що пропонується, ставлення інвестора до ризику формалізується на основі сценарного моделювання. Кількість модельних сценаріїв та стратегій поведінки носія рішення під час формування портфеля цілеспрямовано обмежується формальними засобами.

ФОРМУВАННЯ МНОЖИНИ ЕФЕКТИВНИХ ПОРТФЕЛІВ

Структури інвестиційних портфелів, у яких розглядаються три характерні напрями інвестування в природокористуванні з метою його раціоналізації (економіка, соціальна і екологічна сфери) та враховуються три психологічні типи поведінки інвестора на ринку, які можуть пояснюватися його ставленням до ризику (несхильність, схильність, байдужість), надалі називатимемо базовими структурами.

Відповідні три напрями інвестування в природокористуванні з метою його раціоналізації називатимемо базовими.

Нехай p_k, s_k — невід'ємні значення деяких числових характеристик, що описують програшні p та виграшні s ефекти на трьох (базових) напрямках інвестування в природокористуванні, $k = \overline{1,3}$.

Уведемо множину змінних $X = \{x_k\}$, $k = \overline{1,3}$, якими охарактеризуємо активність (частки) інвестора на k -х базових напрямках інвестиційної діяльності, упорядкувавши їх за зростанням програшного ефекту p : $x_k \geq 0$,

$x_k = \frac{c_k}{c}$, $\sum_{k=1}^3 x_k = 1$, $\sum_{k=1}^3 c_k = c$ — інвестиційний ресурс. Розподіляючи ресурс

c між відповідними напрямками діяльності x_k , $k = \overline{1,3}$, упорядкованими за зростанням програшного ефекту p , будемо формувати портфелі вартістю c з трьох активів на множині $X = \{x_k\}$ з відповідними частками x_k , $k = \overline{1,3}$.

Установимо сукупний ризик $r(x_k)$ інвестиційного портфеля $X = \{x_k\}$, $k = \overline{1,3}$, як суму його власного (системного) ризику $l(x_k)$ та ризику невикористаних можливостей $g(x_k)$:

$$r(x_k) = l(x_k) + g(x_k), \quad k = \overline{1,3}, \quad (2)$$

де функцію власного (системного) ризику портфеля визначимо як $l(x_k) = \sum_{k=1}^3 p_k x_k$, при цьому нехай її вигляд залишається незмінним у формуванні портфеля незалежно від ставлення інвестора до ризику, а функція ризику невикористаних можливостей $g(x_k)$ під час формування портфеля може змінюватися залежно від відношення інвестора до ризику.

Задамо такі три узагальнені модельні сценарії поведінки інвестора як носія рішення щодо формування базової структури інвестиційного портфеля [6]:

1) *песимістичний* — нехай носій рішення не виявляє схильності до ризику і, діючи за цим сценарієм, намагатиметься збільшувати частку x_1 у кожному портфелі, орієнтуючись на обмеження вигляду $x_1 \geq 1/3$;

2) *оптимістичний* — нехай носій рішення виявляє схильність до ризику і, діючи за цим сценарієм, орієнтується на обмеження вигляду $x_3 \geq 1/3$;

3) *нейтральний* — носій рішення виявляє байдужість до ризику; нехай формально він надаватиме перевагу частці x_2 ($x_2 \geq 1/3$).

Для реалізації кожного із цих сценаріїв носій рішення може також застосувати одну з трьох стратегій формування структури інвестиційного портфеля, збільшуючи ту чи іншу частку x_k за рахунок інших складових:

1) рівномірного зменшення часток альтернатив, що відкидаються; 2) максимальне збереження частки менш ризикованої з відкинутих альтернатив; 3) максимальне збереження частки більш ризикованої з відкинутих альтернатив.

Наведені три узагальнені модельні сценарії поведінки інвестора і три стратегії формування структури інвестиційного портфеля не впливають на загальний вигляд функції його власного (системного) ризику $l(x_k)$. Тому цей ризик і названо нами власним або системним.

У випадку, коли інвестор виявляє неохочість до ризику, він не лише намагатиметься збільшувати менш ризиковану частку в портфелі, а й виявлятиме певну обережність в оцінюванні ризику невикористаних можливостей. Нехай цей ризик залежно від «рівня» песимізму інвестора може визначатися однією з таких функцій:

$$g_1(x_1, x_2, x_3) = s_1(x_2 + x_3) + s_2 x_1, \quad (3)$$

$$g_2(x_1, x_2, x_3) = s_1 x_2 + s_2(x_1 + x_3), \quad (4)$$

$$g_3(x_1, x_2, x_3) = s_1(x_2 + x_3) + s_3 x_1, \quad (5)$$

$$g_4(x_1, x_2, x_3) = s_1 x_2 + s_2 x_3 + s_3 x_1. \quad (6)$$

Тоді з урахуванням трьох стратегій формування портфеля інвестор, неохочий до ризику, може використати 12 різних способів (сценаріїв) побудови його базової структури. Якщо припустити, що кожному з цих способів відповідатимуть локально оптимальні за критерієм мінімального ризику

$r(x_k) \rightarrow \min$ портфелі, то всі вони можуть розглядатися як ефективні альтернативи в контексті наступного їх попарного порівняння за сукупним ризиком згідно з правилом (1).

Приклад числового моделювання та вибору оптимальної базової структури портфеля, де як функцію ризику невикористаних можливостей взято залежність (6) в поєднанні зі стратегією максимального збереження частки менш ризикованої з відкинутих альтернатив (приклад 1), показано на рис. 1. Моделювання виконувалось за такими даними: програшні ефекти p_k часток x_k , $k = \overline{1,3}$, відповідно $p_1 = 0,05$; $p_2 = 0,10$; $p_3 = 0,20$; їх виграшні ефекти s_k , відповідно $s_1 = 0,7$; $s_2 = 0,13$; $s_3 = 0,25$.

x_1	...	0,58333	0,60833	0,63333	0,65833	0,68333	0,70833	...
x_2	...	0,33333	0,33333	0,33333	0,33333	0,31667	0,29167	...
x_3	...	0,08333	0,05833	0,03333	0,00833	0	0	...
$r(x_1, x_2, x_3)$	...	0,25917	0,25842	0,25767	0,25692	0,25883	0,26208	...

Рис. 1. Фрагмент таблиці результатів моделювання базової структури інвестиційного портфеля (приклад 1). Оптимальний портфель (79/120, 1/3, 1/120)

Нехай носій рішення виявляє схильність до ризику. Відобразимо її такими оцінками ризику невикористаних можливостей:

$$g_5(x_1, x_2, x_3) = s_3(x_1 + x_2) + s_2x_3, \quad (7)$$

$$g_6(x_1, x_2, x_3) = s_2(x_1 + x_3) + s_3x_2, \quad (8)$$

$$g_7(x_1, x_2, x_3) = s_2x_1 + s_3x_2 + s_1x_3. \quad (9)$$

Результати побудови та вибору оптимальної базової структури інвестиційного портфеля (дані з прикладу 1), де як функцію ризику невикористаних можливостей взято залежність (8) в поєднанні зі стратегією рівномірного зменшення часток альтернатив (приклад 2), показано на рис. 2.

x_1	...	0,33333	0,33333	0,33333	0,31667	0,26667	0,21667	...
x_2	...	0,13333	0,08333	0,03333	0	0	0	...
x_3	...	0,53333	0,58333	0,63333	0,68333	0,73333	0,78333	...
$r(x_1, x_2, x_3)$	...	0,28267	0,28167	0,28067	0,2825	0,29	0,2975	...

Рис. 2. Фрагмент таблиці результатів моделювання базової структури інвестиційного портфеля (приклад 2). Оптимальний портфель (1/3, 1/30, 19/30)

Зрештою, коли інвестор виявляє байдужість до ризику, він, оцінюючи ризик невикористаних можливостей, окрім функцій вигляду (3)–(9), може також застосувати і такі функції:

$$g_8(x_1, x_2, x_3) = s_2(x_1 + x_3) + s_3x_2, \quad (10)$$

$$g_9(x_1, x_2, x_3) = s_2(x_1 + x_3) + s_1 \cdot x_2. \quad (11)$$

За допомогою дев'ятьох функцій (3)–(11), за якими пропонується оцінювати ризик невикористаних можливостей, і трьох стратегій формування структури інвестиційного портфеля можна отримати 27 різних способів формування базових структур ефективних портфелів, кожен з яких певним чином відобразитиме певну позицію інвестора щодо ризику загалом і ризику невикористаних можливостей зокрема. При цьому, як показують числові експерименти, деякі з цих структур неодноразово повторюються за різних сценаріїв формування портфеля.

ПРИКЛАД ВИБОРУ ОПТИМАЛЬНОГО ПОРТФЕЛЯ

Результати відбору базових структур ефективних портфелів a_i (альтернатив), сформованих за результатами числового моделювання 27 способами за наведеними вище даними щодо програшних і вигрешних ефектів, показано в таблиці. Усього за цими даними отримано сім альтернативних структур.

Оптимальні структури портфеля за різних способів його формування, якщо $p_1 = 0,05$; $p_2 = 0,10$; $p_3 = 0,20$; $s_1 = 0,07$; $s_2 = 0,13$; $s_{31} = 0,25$

Параметри портфеля	Портфелі (альтернативи)						
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
$x_{i,1}$	1	0,683333	0,658333	0	0,333333	0,333333	0,333333
$x_{i,2}$	0	0,316667	0,333333	1	0,333333	0,033333	0,008333
$x_{i,3}$	0	0	0,008333	0	0,333333	0,633333	0,658333
l_i	0,05	0,065833	0,067917	0,1	0,116667	0,146667	0,149167
g_i	0,07	0,089	0,0915	0,13	0,15	0,186	0,189

Відібрані альтернативи попарно порівнювалися з метою вибору серед них найкращої (оптимальної) за сукупним ризиком згідно з правилом (1). Альтернативи упорядковувалися за зростанням очікуваного сумарного з урахуванням трьох часток, програшу (власного, системного ризику) портфеля a_i :

$$l_i = \sum_{k=1}^3 p_k x_{i,k} . \quad (12)$$

Очікувані сумарні вигреші g_i кожного з відібраних портфелів a_i , $i = \overline{0,6}$, визначалися за формулою

$$g_i = \sum_{k=1}^3 s_k x_{i,k} . \quad (13)$$

У формулах (12), (13): $x_{i,k}$ — k -і частки, $k = \overline{1,3}$, у структурах i -х оптимальних портфелів (альтернатив), відібраних за різних способів їх формування; p_k , s_k — програшні та вигрешні ефекти на k -х напрямках інвестування.

Таблицю рішень, де виконувалось попарне порівняння відібраних альтернатив за ризиком згідно з правилом (1) показано на рис. 3.

a_i	a_j						
	a_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6
a_0		0,139	0,1415	0,18	0,2	0,236	0,239
a_1	0,13583		0,15733	0,19583	0,21583	0,25183	0,25483
a_2	0,13792	0,15692		0,19792	0,21792	0,25392	0,25692
a_3	0,17	0,189	0,1915		0,25	0,286	0,289
a_4	0,18667	0,20567	0,20817	0,24667		0,30267	0,30567
a_5	0,21667	0,23567	0,23817	0,27667	0,29667		0,33567
a_6	0,21917	0,23817	0,24067	0,27917	0,29917	0,33517	

Рис. 3. Таблиця рішень з порівнянням альтернативних портфелів (дані про параметри портфелів, що порівнюються, наведено в таблиці). Оптимальний портфель — альтернатива a_6 (1/3, 1/120, 79/120).

У ході проведеного імітаційного моделювання базових структур інвестиційних портфелів $X = \{x_k\}$, $k = \overline{1,3}$, за різними вхідними даними з використанням 27 сценаріїв (способів) формування портфелів за умови $s_k > p_k$, $k = \overline{1,3}$, виявлено 16 можливих їх альтернативних структур (альтернатив): (1; 0; 0), (0,68333; 0,31667; 0), (0,658333; 0,333333; 0,008333), (0,63333; 0,333333; 0,68333; 0), (0; 1; 0), (0,33333; 0,33333; 0,33333), (0,33333; 0,033333; 0,03333), (0,33333; 0,63333; 0,03333), (0,33333; 0,658333; 0,008333), (0,31667; 0,633333), (0,33333; 0,00833; 0,65833), (0,31667; 0; 0,68333), (0,033333; 0,33333; 0,633333), (0,008333; 0,33333; 0,658333), (0; 0,31667; 0,68333), (0; 0; 1). Ці структури можна розглядати як елементи скінченної множини ефективних інвестиційних портфелів у природокористуванні з базовою структурою $X = \{x_k\}$, $k = \overline{1,3}$, у процесі розв'язання задачі вибору оптимального портфеля за сукупним ризиком, включаючи ризик невикористаних можливостей згідно з правилом (1).

ВИСНОВКИ

Запропоновано метод формування множини ефективних портфелів та вибору оптимальної структури інвестиційного портфеля, що може поєднувати в собі три напрями інвестування в природокористуванні, за критерієм мінімального ризику на підставі попарного порівняння альтернатив з урахуванням ризику невикористаних можливостей. Запропоновано функції, за якими можуть визначатися ризики невикористаних можливостей залежно від відношення інвестора до ризику (схильності, несхильності, байдужості).

Установлено, що відповідним чином, згідно із запропонованим методом, у випадку трьох напрямів інвестування різними способами з урахуванням ризику невикористаних можливостей в контексті врахування психологічної позиції носія рішення щодо ризику загалом і ризику невикористаних можливостей зокрема може бути сформована скінченна множина альтернативних структур ефективних портфелів (альтернатив), серед яких існує оптимальна на підставі попарного порівняння за критерієм мінімального ризику альтернатива.

ЛІТЕРАТУРА

1. Згуровський М.З. Сталий розвиток у глобальному і регіональному вимірах: аналіз за даними 2005 р. / М.З. Згуровський. — К.: Політехніка. — 2006. — 84 с.
2. Бідюк П.І. Дослідження сталого розвитку макроекономічних процесів в Україні / П.І. Бідюк, В.Я. Данилов, Йошіо Мацуоки // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2015. — № 3. — С. 84–97.
3. Стефанишин Д.В. Методологічний підхід до обґрунтування протизсувних заходів з врахуванням ризику / Д.В. Стефанишин, І.В. Трохимова, О.М. Трофимчук // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць. — КНУБА, ІТГП НАНУ, 2010. — Вип. 6. — С. 5–20.
4. Дрозд І.П. Концепція прийняттого ризику та проблеми забезпечення техногенної безпеки в Україні / І.П. Дрозд, А.С. Охота // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць. — КНУБА, ІТГП НАНУ, 2011. — Вип. 7. — С. 82–108.
5. Вітлінський В.В. Економічний ризик: ігрові моделі / В.В. Вітлінський, П.І. Верченко. — К.: КНЕУ, 2002. — 446 с.
6. Стефанишин Д.В. Метод формування інвестиційного портфеля в природокористуванні з врахуванням ризику невикористаних можливостей / Д.В. Стефанишин, Ю.Д. Стефанишина // Екологічна безпека та природокористування: зб. наук. праць. — КНУБА, ІТГП НАНУ, 2012. — Вип. 9. — С. 201–212.
7. Реймерс Н.Ф. Природопользование: словарь-справочник / Н.Ф. Реймерс. — М.: Мысль, 1990. — 637 с.
8. Мороз О.В. Оптимальне управління економічними системами в умовах невизначеності та ризику / О.В. Мороз, А.В. Матвійчук. — Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2003. — 177с.
9. Ястремський О.І. Основи теорії економічного ризику / О.І. Ястремський. — К.: АртЕк, 1997. — 248 с.
10. Бернстайн П. Против богов: Укрощение риска / П. Бернстайн; пер. с англ. — М.: ЗАО «Олимп-Бизнес», 2000. — 400 с.
11. Сявавко М.С. Математичне моделювання за умов невизначеності / М.С. Сявавко, О.М. Рибицька. — Львів: НВФ «Українські технології», 2000. — 319 с.
12. Кулян В.Р. Про моделювання динаміки портфеля акцій / В.Р. Кулян, О.О. Юнькова, М.В. Коробова // Вісник КНУ імені Тараса Шевченка. Серія: фізико-математичні науки, 2016. — Вип. 1. — С. 173–177.
13. Стефанишин Д.В. Вибрані задачі оцінки ризику та прийняття рішень за умов стохастичної невизначеності / Д.В. Стефанишин. — К.: Азимут-Україна, 2009. — 104 с.
14. Стефанишина-Гаврилюк Ю.Д. Прийняття рішень у природокористуванні з врахуванням ризику невикористаних можливостей на підставі попарного порівняння альтернатив / Ю.Д. Стефанишина-Гаврилюк, Д.В. Стефанишин // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2016. — № 3. — С. 51–62.
15. Кини Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения / Р.Л. Кини, Х. Райфа. — М.: Наука, 1981. — 560 с.
16. Мушик Э. Методы принятия технических решений / Э. Мушик, П. Мюллер; пер. с нем. — М.: Мир, 1990. — 206 с.
17. Эддоус М. Методы принятия решений / М. Эддоус, Р. Стенсфилд; пер. с англ. — М.: ЮНИТИ, Аудит, 1997. — 510 с.
18. Бейко І.В. Задачі, методи і алгоритми оптимізації: навч. посіб. / І.В. Бейко, П.М. Зінько, О.Г. Наконечний. — Рівне: НУВГП, 2011. — 624 с.

Надійшла 06.04.2017

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ В ОРТОТРОПНОЙ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СРЕДЕ С КРУГОВОЙ ТРЕЩИНОЙ

В.С. КИРИЛЮК, О.И. ЛЕВЧУК, Е.В. ГАВРИЛЕНКО

Аннотация. Развита математическая модель для анализа напряженного состояния в ортотропном электроупругом материале с круговой (дискообразной) трещиной. Модель базируется на рассмотрении связанной системы уравнений электроупругости. Рассмотрена задача об электрическом и напряженном состоянии в ортотропном электроупругом пространстве с круговой трещиной при однородных силовых и электрических нагружениях. Решение задачи получено с помощью использования тройного преобразования Фурье и Фурье-образа функции Грина для бесконечной пьезоэлектрической среды. Тестирование подхода проводилось для случая расположения трещины в плоскости изотропии трансверсально-изотропного пьезоэлектрического материала, для которого существует точное решение задачи. Сравнение результатов вычислений подтверждает высокую эффективность использованного подхода. Проведены численные исследования, изучено распределение коэффициентов интенсивности напряжений вдоль фронта круговой трещины в электроупругом ортотропном материале и упругих ортотропных материалах при однородных нагружениях.

Ключевые слова: математическое моделирование, связанная система уравнений электроупругости, ортотропный пьезоэлектрический материал, плоская круговая трещина, однородные нагрузки, коэффициенты интенсивности напряжений.

ВВЕДЕНИЕ

Использование пьезоэлектрических материалов в различных отраслях промышленности при создании элементов датчиков для измерительной аппаратуры, преобразователей энергии вызывает интерес изучения и анализа силовых и электрических полей в электроупругих телах, содержащих концентраторы напряжений типа полостей, включений, трещин. В то же время решение пространственных трехмерных задач электроупругости является весьма сложной математической проблемой, поскольку исходная система уравнений для нахождения напряженного и электрического состояний представляет собой связанную систему дифференциальных уравнений в частных производных [1, 3, 4]. Поэтому до настоящего времени наиболее полно исследованы двумерные задачи электроупругости (с учетом связанности полей) для тел с концентраторами напряжений [8, 10, 11]. Для случая трансверсально-изотропных свойств электроупругого материала (представляют широкий класс пьезоэлектрических материалов) в работах [20, 25] предложены подходы к построению общих решений системы связанных уравнений

электроупругости, на основе которых получены решения ряда задач для пьезоэлектрического материала с полостями, включениями, трещинами, что специальным образом ориентированы относительно оси симметрии электроупругого материала. Предполагалось, что ось симметрии материала ориентирована вдоль оси вращения концентратора напряжений (для полости или включения), а для круговой или эллиптической трещины она расположена в плоскости, перпендикулярной оси симметрии материала [5, 7, 9, 12, 14, 15, 17–24, 27–29]. В случае же другой ориентации концентраторов напряжений (полостей, включений, трещин) в трансверсально-изотропном пьезоэлектрическом материале упомянутые подходы не позволяют решать пространственные задачи электроупругости. Отметим, что в настоящее время рассмотрено лишь несколько пространственных задач электроупругости для ортотропных пьезоэлектрических материалов [6, 30].

В работе на основе математического моделирования впервые изучено распределение коэффициентов интенсивности напряжений вдоль фронта круговой трещины, расположенной в ортотропном электроупругом материале, при постоянном внутреннем давлении на поверхности круговой трещины. При исследованиях применен аналитико-численный подход, основанный на преобразовании Фурье по трем пространственным переменным, Фурье-образе функции Грина для электроупругого материала, теореме Коши о вычетах и квадратурных формулах Гаусса. Для частных случаев рассматриваемой проблемы получено совпадение результатов с данными других исследований.

ОСНОВНЫЕ УРАВНЕНИЯ, СООТНОШЕНИЯ И ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Пусть электроупругое ортотропное пространство содержит дискообразную (круговую) трещину, расположенную в плоскости xu , что является одной из ортогональных плоскостей симметрии материала. При рассмотрении задачи полагаем, что пьезоэлектрический материал находится под воздействием силовых и электрических полей полиномиального вида. Наличие трещины как концентратора напряжений приводит к появлению в электроупругой среде возмущенного силового и электрического состояний.

Полная система уравнений электроупругости для связанных полей принимает следующий вид:

уравнения равновесия при отсутствии объемных сил

$$\sigma_{ij,j} = 0; \quad (1)$$

уравнения вынужденной электростатики

$$D_{i,i} = 0; \quad E_i = -\Psi_{,i}; \quad (2)$$

соотношения Коши

$$\varepsilon_{ij} = \frac{1}{2}(u_{i,j} + u_{j,i});$$

уравнения состояния

$$\sigma_{ij} = C_{ijmn}\varepsilon_{mn} + e_{nij}\Psi_{,n}; \quad D_i = e_{imn}\varepsilon_{mn} - k_{in}\Psi_{,n}, \quad (3)$$

где σ_{ij} , ε_{ij} , u_i , D_i , E_i , Ψ — компоненты напряжений, деформаций, перемещений, электрических перемещений (электрической индукции), напря-

женности электрического поля и электрический потенциал соответственно. При записи основных уравнений использованы обозначения следующих тензоров: C_{ijmn} , e_{imn} , k_{ij} — тензоры упругих модулей, пьезомодулей, диэлектрических проницаемостей пьезоэлектрического материала. Для ортотропных электроупругих материалов упругие свойства материала описываются девятью независимыми постоянными $c_{11}, c_{22}, c_{33}, c_{12}, c_{13}, c_{23}, c_{44}, c_{55}, c_{66}$; пьезомодули — пятью независимыми величинами $e_{15}, e_{24}, e_{31}, e_{32}, e_{33}$; диэлектрические проницаемости — тремя независимыми постоянными k_{11}, k_{22}, k_{33} . Компоненты тензоров, входящие в выражения (3), связаны с упомянутыми независимыми постоянными следующим образом:

$$\begin{aligned} C_{1111} &= c_{11}; C_{2222} = c_{22}; C_{3333} = c_{33}; C_{1122} = C_{2211} = c_{12}; \\ C_{1133} &= C_{3311} = c_{13}; C_{2233} = C_{3322} = c_{23}; C_{2323} = C_{2332} = C_{3232} = C_{3223} = c_{44}; \\ C_{3131} &= C_{3113} = C_{1331} = C_{1313} = c_{55}; C_{1212} = C_{1221} = C_{2121} = C_{2112} = c_{66}; \\ e_{113} &= e_{131} = e_{15}; e_{223} = e_{232} = e_{24}; e_{311} = e_{31}; \\ e_{322} &= e_{32}; e_{333} = e_{33}; k_{11}; k_{22}; k_{33}. \end{aligned}$$

Другие компоненты этих трех тензоров равны нулю.

Отметим, что из соотношений (1)–(3) и приведенных компонентов тензоров следуют уравнения статики электроупругого ортотропного тела относительно перемещений и электрического потенциала.

Для описания состояния для связанных силовых и электрических полей воспользуемся обозначениями [9], на основе которых представим в следующем виде:

упругие перемещения и электрический потенциал:

$$U_M = \begin{cases} u_m, & M = 1, 2, 3, \\ \Psi, & M = 4, \end{cases} \quad (4)$$

упругие деформации и напряженность электрического поля

$$Z_{Mn} = \begin{cases} \varepsilon_{mn}, & M = 1, 2, 3, \\ \Psi_n, & M = 4; \end{cases} \quad (5)$$

напряжения и электрические перемещения

$$\Sigma_{iJ} = \begin{cases} \sigma_{ij}, & J = 1, 2, 3, \\ D_i, & J = 4; \end{cases} \quad (6)$$

электроупругие модули

$$E_{iJMn} = \begin{cases} C_{ijmn}, & J, M = 1, 2, 3; \\ e_{nij}, & J = 1, 2, 3; M = 4; \\ e_{imn}, & J = 4; M = 1, 2, 3; \\ -k_{in}, & J, M = 4. \end{cases} \quad (7)$$

С помощью приведенных обозначений (4)–(7) уравнения состояния (3) можно записать в таком виде:

$$\Sigma_{iJ} = E_{iJMn} Z_{Mn} . \quad (8)$$

В граничные условия для нахождения электроупругого состояния входят нормальные и касательные усилия, а также нормальная составляющая вектора электрической индукции на поверхности трещины

$$\tau_{13}^{\pm} = f(x_1, x_2); \quad \tau_{23}^{\pm} = g(x_1, x_2); \quad \sigma_{33}^{\pm} = -P(x_1, x_2);$$

$$D_3^{\pm} = -D(x_1, x_2) , \quad (x_1, x_2) \in S^{\pm}; \quad U_M(\vec{x}) \rightarrow 0 \quad \text{при} \quad |\vec{x}| \rightarrow \infty , \quad (9)$$

где S^{\pm} — двусторонняя поверхность трещины. При заданном основном напряженном и электрическом состояниях в пьезоэлектрическом материале и на свободной от силовых и электрических воздействий поверхности трещины с помощью суперпозиции основного и возмущенного состояний приходим к граничным условиям для нахождения возмущенного электроупругого состояния.

МЕТОД РЕШЕНИЯ

Для бесконечного ортотропного электроупругого пространства функция Грина $G_{JM}(\vec{x} - \vec{x}')$ (фундаментальное решение) удовлетворяет следующим уравнениям:

$$E_{kJMn} G_{JM, kn} + \delta_{JM} \delta(\vec{x} - \vec{x}') = 0 , \quad (10)$$

где $\delta(\vec{x} - \vec{x}')$ — дельта функция Дирака; δ_{JM} — символ Кронекера, а запятая после индекса означает дифференцирование по соответствующей переменной. В дальнейшем воспользуемся интегральным выражением функции Грина в виде

$$G_{JM}(\vec{x} - \vec{x}') = \frac{1}{(2\pi)^3} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} A_{JM}(\vec{\xi}) D^{-1}(\vec{\xi}) e^{i\vec{\xi} \cdot (\vec{x} - \vec{x}')} d\xi_1 d\xi_2 d\xi_3 , \quad (11)$$

где $A_{JM}(\vec{\xi})$ — соответствующие алгебраические дополнения элементов матрицы

$$\{K_{JM}(\vec{\xi})\} = \{E_{iJMn} \xi_i \xi_n\}; \quad (12)$$

$D(\vec{\xi})$ — определитель упомянутой матрицы.

Обобщая случай для чисто упругого материала [26] на основе тождества Сомильяны для пьезоэлектрического материала, учитывая выражения (8)–(12), представим возмущенное электрическое и напряженное состояния с помощью неизвестных скачков перемещений и электрического потенциала на двусторонней поверхности трещины:

$$U_I(\vec{x}) = \frac{1}{4\pi^2} \sum_{N=1}^4 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{E_{IJM3} \xi_I^N A_{IJ}(\vec{\xi}^N)}{\partial D(\vec{\xi}^N) / \partial \xi_3} \iint_S b_M(\vec{x}') e^{-i\vec{\xi}^N \cdot (\vec{x} - \vec{x}')} d\xi_1 d\xi_2 dx'_1 dx'_2 ,$$

где для круговой трещины неизвестный вектор $\vec{b}(\vec{x})$ принимает вид

$$\vec{b}(\vec{x}) = \vec{b}^{(p,q)}(x_1/a + ix_2/a)^p (x_1/a - ix_2/a)^q (1 - x_1^2/a^2 - x_2^2/a^2)^{1/2}; \quad (13)$$

a — значения радиуса круговой трещины; $\vec{b}^{(p,q)}$ — постоянные четырехкомпонентного вектора, которые в общем случае являются комплексными числами. Суммирование проводится для ξ_3^M — корней уравнения $D(\vec{\xi}) = 0$ с отрицательной мнимой частью при $x_3 > 0$, а вектор $\vec{\xi}^M$ имеет вид $\vec{\xi}^M = (\xi_1, \xi_2, \xi_3^M(\xi_1, \xi_2))$. Компоненты напряжений и электрической индукции, учитывая формулы (13), будем находить с помощью выражений

$$\Sigma_{iJ}(\vec{x}) = E_{iJKl} U_{K,l} = \left(\frac{-i}{4\pi^2}\right) \sum_{N=1}^4 \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \iint_S \frac{E_{iJKl} E_{pQM} \xi_p^N \xi_l^N A_{KQ}(\vec{\xi}^N)}{\partial D(\vec{\xi}^N) / \partial \xi_3} b_M(\vec{x}') e^{-i\vec{\xi}^M \cdot (\vec{x} - \vec{x}')} d\xi_1 d\xi_2 dx_1 dx_2.$$

На основе преобразований, подобных [26] для случая чисто упругого материала, в плоскости трещины компоненты напряжений и электрической индукции можно представить в виде

$$\Sigma_{iJ}(x_1, x_2, 0) = \frac{i}{4} \sum_{p,q} b_M^{(p,q)} \int_0^{2\pi} \sum_{N=1}^4 F_{iJM}(\eta_1/a, \eta_2/a, \xi_3^N(\eta_1/a, \eta_2/a)) \times e^{i(p-q)\varphi} \frac{\partial^2}{\partial(\vec{\eta} \cdot \vec{y})^2} [K^{(p,q)}(\vec{\eta} \cdot \vec{y}) - K^{(p+1,q+1)}(\vec{\eta} \cdot \vec{y})] d\varphi; \quad (14)$$

$$K^{(p,q)}(\vec{\eta} \cdot \vec{y}) = \sum_{m=0}^p \sum_{n=0}^q (-1)^{(m-n)/2} C_p^m C_q^n C_{m+n}^{(m+n)/2} \left(\frac{1 - (\vec{\eta} \cdot \vec{y})^2}{4}\right)^{(m+n)/2} (\vec{\eta} \cdot \vec{y})^{p+q-m-n};$$

$$F_{iJM}(\xi_1, \xi_2, \xi_3) = E_{iJKl} E_{pQM} \xi_p^N \xi_l^N \frac{A_{KQ}(\vec{\xi}^N)}{\partial D(\vec{\xi}^N) / \partial \xi_3}, \quad (15)$$

где $m+n$ — целое четное число; $\eta_1 = \cos \varphi$; $\eta_2 = \sin \varphi$; $y_1 = x_1/a$, $y_2 = x_2/a$; $y = (y_1^2 + y_2^2)^{1/2}$; C_n^m — биномиальные коэффициенты. Правая часть уравнений (14) является полиномом степени $p+q$, когда $|y| < 1$ (внутри круговой трещины). Приравнивая коэффициенты при подобных членах (аналогично случаю чисто упругого материала [26]), учитывая выражения (15) с помощью выбора неизвестных компонентов $b_M^{(p,q)}$ ($M=1, 2, 3, 4$), можно удовлетворить граничные условия задачи при заданном силовой нагрузке и нормальной компоненте электрической индукции полиномиального вида.

Рассмотрим случай однородной силовой и электрической нагрузок в ортотропном электроупругом материале. Тогда

$$\Sigma_{iJ}(\vec{x}) = \left(\frac{-i}{4}\right) \int_0^{2\pi} \sum_{N=1}^4 F_{iJM}(\eta_1/a, \eta_2/a, \xi_3^N(\eta_1/a, \eta_2/a)) b_M^{(0,0)} d\varphi,$$

где функция $F_{iJM}^{(\alpha,\beta,\gamma)}(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ определяется согласно формулам (15).

Из анализа асимптотических выражений компонент напряжений и электрической индукции в плоскости трещины приходим к выражениям коэффициентов интенсивности напряжений и электрической индукции K_{iJ} :

$$k_{iJ} = i\sqrt{\pi a} (x_1^2/a^4 + x_2^2/a^4)^{-1/4} \times \\ \times \sum_{N=1}^4 F_{iJM}(x_1/a^2, x_2/a^2, \xi_3^N(x_1/a^2, x_2/a^2)) b_M^{(0,0)};$$

$$K_I = k_{33}; K_{II} = k_{31}n_1 + k_{32}n_2; K_{III} = k_{31}(-n_2) + k_{32}n_1; K_{IV} = K_D = k_{34}. \quad (16)$$

Компоненты вектора нормали для круговой трещины имеют вид

$$n_1 = (x_1/a^2)/(x_1^2/a^4 + x_2^2/a^4)^{1/2}, \quad n_2 = (x_2/a^2)/(x_1^2/a^4 + x_2^2/a^4)^{1/2}.$$

Воспользовавшись при вычислениях одномерных интегралов методом квадратур Гаусса и удовлетворив граничные условия, находим неизвестные значения скачков перемещений и электрического потенциала на двусторонней поверхности круговой трещины.

Для апробации используемого подхода рассмотрим задачу о круговой трещине в трансверсально-изотропной электроупругой среде, расположенной в плоскости, перпендикулярной оси симметрии материала, при известных значениях основного поля $\sigma_{33}^0 \neq 0$, $\sigma_{13}^0 \neq 0$, $D_z^0 = 0$ в электроупругом пространстве. Согласно результатам [14, 15] в этом случае коэффициент интенсивности напряжения (КИН) определяются с помощью аналитических выражений:

$$K_I = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (P_0 \sqrt{a}); \quad K_{II} = \frac{4}{(2-\nu_{PIEZO})\sqrt{\pi}} (\sigma_{10}^0 \sqrt{a}) \cos \varphi; \\ K_{III} = \frac{-4(1-\nu_{PIEZO})}{(2-\nu_{PIEZO})\sqrt{\pi}} (\sigma_{10}^0 \sqrt{a}) \sin \varphi, \quad (17)$$

где значение ν_{PIEZO} для пьезоэлектрических трансверсально-изотропных материалов зависит специальным образом от электроупругих постоянных материалов [14]. Согласно проведенным исследованиям для пьезоэлектрических материалов PZT-4, PХЕ-5, PZT-7A, BaTiO₃, PZT-5H, свойства которых взяты из работ [1, 9, 12, 17], получаем следующие значения ν_{PIEZO} : 0,48513; 0,48815; 0,47324; 0,34369; 0,7867. Для апробации развиваемого подхода коэффициенты интенсивности напряжений вычислялись как по формулам (16), так и по явным выражениям (17). При расчетах на основе (16) применялись квадратурные формулы Гаусса по 24 узлам. Расчеты пока-

зали совпадение результатов до семи значащих чисел во всем диапазоне изменения угла φ и для всех пяти различных пьезоэлектрических материалов.

Другим частным случаем рассматриваемой задачи, выбранным для апробации вычислительного алгоритма, был случай расположения плоской круговой трещины в чисто упругом ортотропном материале (в плоскости упругой симметрии), для которого проводились сравнения с данными [16]. Для этого при вычислениях на основе развиваемого подхода значения пяти пьезомодулей и величины трех диэлектрических проницаемостей полагались близкими к нулевым значениям (при расчетах они получались умножением исходных значений этих величин на 10^{-10}). В результате проведенных исследований получено совпадение результатов вычислений для КИН K_I , K_{II} , K_{III} до шести значащих чисел, полученных с помощью применения функции Грина для задачи теории упругости (для чисто упругой ортотропной среды) и функции Грина для задачи электроупругости (с обнуленными электрическими свойствами).

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Рассмотрим ортотропный пьезоэлектрический материал $Ba_2NaNb_5O_{15}$, упругие и электрические свойства которого содержат 17 независимых постоянных, значения которых приведены в работе [3]. Полагаем, что круговая трещина расположена в плоскости xu пьезоэлектрического материала $Ba_2NaNb_5O_{15}$. Также при расчетах воспользуемся упругими свойствами двух стеклопластиков (ортогонально-армированный 2:1 и СТЭТ), которые являются ортотропными материалами; их данные приведены в монографии [2 с. 64]. Распределение КИН K_I при постоянном давлении P_0 на поверхности круговой трещины показано на рис. 1, распределение КИН K_{II} , K_{III} вдоль фронта (границы) круговой трещины при сдвиге σ_{yz}^0 в электроупругом материале — на рис. 2, 3. Кривые 1, 2, 3 соответствуют материалам $Ba_2NaNb_5O_{15}$: ортогонально-армированному стеклопластику 2:1 и стеклопластику СТЭТ соответственно. Видно, что наибольшие значения коэффициентов интенсивности напряжений K_I достигаются на фронте круговой трещины для ортогонально-армированного стеклопластика 2:1. При этом наиболее опасным является направление развития статической трещины при постоянном давлении на поверхности трещины вдоль оси $0y$, в то время, как для стеклопластика СТЭТ более опасным направлением является направление вдоль оси $0x$. Максимальные значения КИН K_{II} достигаются на фронте трещины вдоль оси $0y$ для всех расчетных случаев. При этом для наибольшие значения КИН K_{II} имеем для ортогонально-армированного стеклопластика 2:1. Максимальные значения КИН K_{III} для трех расчетных случаев при сдвиге σ_{yz}^0 получаем для электроупругого ортотропного материала $Ba_2NaNb_5O_{15}$, которые достигаются на фронте круговой трещины в направлении оси $0x$. В то же время для ортогонально-армированного 2:1 и СТЭТ стеклопластиков максимальные значения КИН K_{III} , которые уступают значениям для материала $Ba_2NaNb_5O_{15}$, достигаются в точках фронта круговой трещины, не лежащих на координатных осях $0x$ или $0y$.

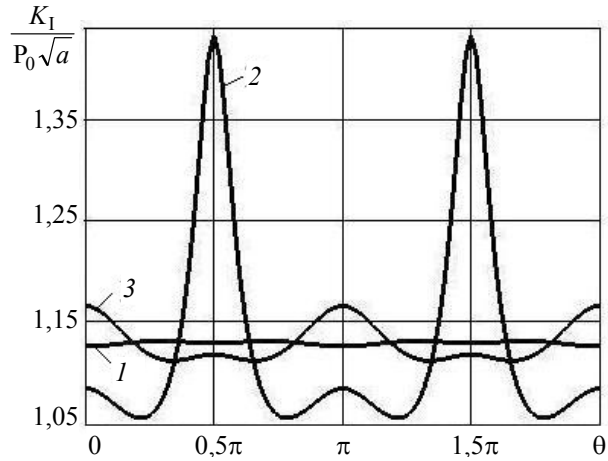


Рис. 1. Распределение КИН K_I вдоль фронта круговой трещины

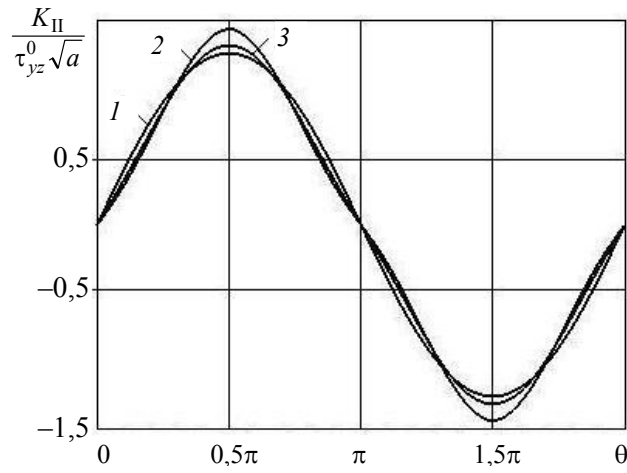


Рис. 2. Распределение КИН K_{II} вдоль фронта круговой трещины

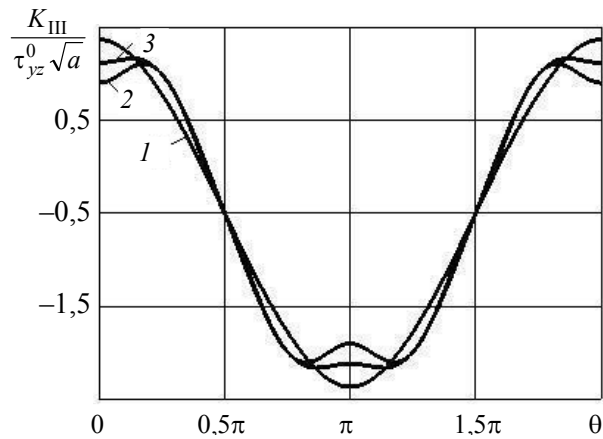


Рис. 3. Распределение КИН K_{III} вдоль фронта круговой трещины

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе на основе математической модели, учитывающей связанность силовых и электрических полей в пьезоэлектрическом материале, исследовано

напряженное состояние в ортотропной электроупругой среде с круговой трещиной. Изучено распределение коэффициентов интенсивности напряжений вдоль фронта трещины, расположенной в плоскости симметрии материала при постоянном давлении на поверхности трещины, а также в случае сдвига в материале.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гринченко В.Т.* Электроупругость / В.Т. Гринченко, А.Ф. Улитко, Н.А. Шульга. — К.: Наук. думка, 1989. — 279 с.
2. *Лехницкий С.Г.* Теория упругости анизотропного тела / С.Г. Лехницкий. — М.: Наука, 1977. — 415 с.
3. *Партон В.З.* Электроупругость пьезокерамических и электропроводных тел / В.З. Партон, Б.А. Кудрявцев. — М.: Наука, 1988. — 472 с.
4. *Шульга М.О.* Резонансні електромеханічні коливання п'єзоелектричних пластин / М.О. Шульга, В.Л. Карлаш. — К.: Наук. думка. — 2008. — 270 с.
5. *Chen W.Q.* 3D point force solution for a permeable penny-shaped crack embedded in an infinite transversely isotropic piezoelectric medium / W.Q. Chen, C.W. Lim // *Int. J. Fract.* — 2005. — **131**, N 3. — P. 231–246.
6. *Chen W.Q.* Exact three-dimensional solutions of laminated orthotropic piezoelectric rectangular plates featuring interlaminar bonding imperfections modeled by a general spring layer / W.Q. Chen, J.B. Cai, G.R. Ye, Y.F. Wang // *International Journal of Solids and Structures.* — 2004. — **41**, N 18–19. — P. 5247–5263.
7. *Chiang C.R.* The nature of stress and electric-displacement concentrations around a strongly oblate cavity in a transversely isotropic piezoelectric material / C.R. Chiang, G.J. Weng // *Int. J. Fract.* 2005. — **134**, N 3–4. — P. 319–337.
8. *Dai L.* Stress concentration at an elliptic hole in transversely isotropic piezoelectric solids / L. Dai, W. Guo, X. Wang // *Int. J. Solids and Struct.* — 2006. — **43**, N 6. — P. 1818–1831.
9. *Dunn M.L.* Electroelastic Field Concentrations In and Around Inhomogeneities In Piezoelectric Solids / M.L. Dunn, M. Taya // *J. Appl. Mech.* — 1994. — **61**, N 4. — P. 474–475.
10. *Kaloerov S.A.* Problem of Electromagnetoviscoelasticity for Multiply Connected Plates / S.A. Kaloerov, A.A. Samodurov // *International Applied Mechanics.* — 2015. — **51**, N 6. — P. 623–639.
11. *Kaloerov S.A.* Determining the intensity factors for stresses, electric-flux density, and electric-field strength in multiply connected electroelastic anisotropic media / S.A. Kaloerov // *Int. Appl. Mech.* — 2007. — **43**, N 6. — P. 631–637.
12. *Karnaukhov V.G.* Forced Resonant Vibrations and Self-Heating of Solids of Revolution Made of a Viscoelastic Piezoelectric Material / V.G. Karnaukhov, V.I. Kozlov, A.V. Zavgorodnii, I.N. Umrykhin // *International Applied Mechanics.* — 2015. — **51**, N 6. — P. 614–622.
13. *Kirilyuk V.S.* Elastic state of a transversely isotropic piezoelectric body with an arbitrarily oriented elliptic crack / V.S. Kirilyuk // *Int. Appl. Mech.* — 2008. — **44**, N 2. — P. 150–157.
14. *Kirilyuk V.S.* On the stress state of a piezoceramic body with a flat crack under symmetric loads / V.S. Kirilyuk // *Int. Appl. Mech.* — 2005. — **41**, N 11. — P. 1263–1271.
15. *Kirilyuk V.S.* Stress state of a piezoelectric ceramic body with a plane crack under antisymmetric loads / V.S. Kirilyuk // *Int. Appl. Mech.* — 2006. — **42**, N 2. — P. 152–161.

16. *Kirilyuk V.S.* Stress state of an elastic orthotropic medium with elliptical crack under tension and shear / V.S. Kirilyuk // *International Applied Mechanics*. — 2005. — **41**, N 4. — P. 358–366.
17. *Kirilyuk V.S.* Thermostressed state of a piezoelectric body with a plane crack under symmetric thermal load / V.S. Kirilyuk // *International Applied Mechanics*. — 2008. — **44**, N 3. — P. 320–330.
18. *Levchenko V.V.* Effect of Boundary Conditions on the Natural Frequencies and Vibration Modes of Piezoelectric Plates with Radially Cut Electrodes / V.V. Levchenko // *International Applied Mechanics*. — 2015. — **51**, N 2. — P. 187–195.
19. *Lin S.* Electroelastic analysis of a penny-shaped crack in a piezoelectric ceramic under mode I loading / S. Lin, F. Narita, Y. Shindo // *Mech. Res. Com.* — 2003. — **30**, N 4. — P. 371–386.
20. *Podil'chuk Yu.N.* Representation of the general solution of statics equations of the electroelasticity of a transversally isotropic piezoceramic body in terms of harmonic functions / Yu.N. Podil'chuk // *International Applied Mechanics*. — 1998. — **34**, N 7. — P. 623–628.
21. *Podil'chuk Yu.N.* Electroelastic equilibrium of transversally isotropic, piezoceramic media containing cavities, inclusions, and cracks / Yu.N. Podil'chuk // *International Applied Mechanics*. — 1998. — **34**, N 10. — P. 1023–1034
22. *Shang F.* Theoretical investigation of an elliptical crack in thermopiezoelectric material. Part 1: Analytical development / F. Shang, M. Kuna, T. Kitamura // *Theor. Appl. Fract. Mech.* — 2003. — **40**, N 3. — P. 237–246.
23. *Sladek J.* Crack analyses in porous piezoelectric brittle materials by the SBFEM / J. Sladek, V. Sladek, S. Krahulec, C. Song // *Engineering Fracture Mechanics*. — 2016. — **160**. — P. 78–94.
24. *Wang Y.J.* The anti-plane solution for the edge cracks originating from an arbitrary hole in a piezoelectric material / Y.J. Wang, C.F. Gao, H.P. Song // *Mechanics Research Communications*. — 2015. — **65**. — P. 17–23.
25. *Wang Z.K.* The general solution of three-dimension problems in piezoelectric media / Z.K. Wang, B.L. Zheng // *Int. J. Solids Structures*. — 1995. — **32**, N 1. — P. 105–115.
26. *Willis J.R.* The stress field around an elliptical crack in an anisotropic elastic medium / J.R. Willis // *Int. J. Eng. Sci.* — 1968. — **6**, N 5. — P. 253–263.
27. *Zhang T.Y.* Fracture behaviors of piezoelectric materials / T.Y. Zhang, C.F. Gao // *Theor. Appl. Fract. Mech.* — 2004. — **41**, N 1–3. — P. 339–379.
28. *Zhao M.H.* Singularity analysis of planar cracks in three-dimensional piezoelectric semiconductors via extended displacement discontinuity boundary integral equation method / M.H. Zhao, Y. Li, Y. Yan, C.Y. Fan // *Engineering Analysis with Boundary Elements*. — 2016. — **67**. — P. 115–125.
29. *Zhao M.H.* Extended displacement discontinuity method for analysis of cracks in 2D piezoelectric semiconductors / M.H. Zhao, Y.B. Pan, C.Y. Fan, G.T. Xu // *International Journal of Solids and Structures*. — 2016. — **94–95**. — P. 50–59.
30. *Zhou Y.* Semi-analytical solution for orthotropic piezoelectric laminates in cylindrical bending with interfacial imperfections / Y. Zhou, W.Q. Chen, C.F. Lu // *Composite Structures*. — 2010. — **92**, N 4. — P. 1009–1018.

Надійшла 27.07.2017

METRIC AND ALGORITHM FOR SIMILARITY BETWEEN TWO TEMPORAL EVENT SEQUENCES CALCULATION

S. NIKOLAIEV

Abstract. In several data analysis applications on temporal events flows, the problem of measuring “similarity” of these sequences arises. There are many different definitions of event sequences but in this paper under the term “sequence of events” the ordered array of the event occurrence times will be understood. In this paper the metric and procedure for similarity calculation between two ordered event sequences is presented. The procedure as the output returns measure of two event flows similarity and set of corresponding indices pairs which represent the mapping of the events between the input sequences.

Keywords: time stamped quasi periodic events; temporal event sequences similarity metric; computing distance between two real arrays of different length; accuracy, recall, precision for temporal event sequences; algorithm for distance of two event flows estimation.

INTRODUCTION

Temporal event data is at the forefront of today’s Big Data boom. Across the world, sensors from IoT, telecommunication networks, medical equipment, gadgets, video cameras are capturing and storing every aspect of our existence as sequences of time stamped events. And all these amounts of information with temporal events series are analyzed and mined for different kind of knowledge by a broad variety of specialists. Nowadays temporal sequence analysis is being used across multiple domains starting with sociology [1] where individual human lives are considered as sequences of events to be compared to pool of all known life-trajectories of society, and finishing with healthcare applications where events are extracted from quasi periodic bio-signals.

In all these domains the task of measuring similarity between two temporal event sequences of different length arises. This problem often is named finding similar situations in events flows.

More formally, the problem of finding similar situations can be defined as follows. Given a time t and a window width w , find another time s such that the windows of the sequence occurring in intervals $(t - w, t)$ and $(s - w, s)$ are similar. The similarity between two slices can be defined using an edit distance notion [2], i.e., the distance is defined as the cost of the cheapest possible sequence of operations that transforms one slice to another. Usually the operations are insertion and deletion of an event and moving an event in time; each operation has an associated cost. The edit distance can be computed using a dynamic programming algorithm, but the computation is slow. Furthermore, assigning costs to the edit operations is quite problematic [3].

This works well for applications with multiple types of events where subsequences can be distinguished by type of the events. But if we have single-event-type domain then approach of finding longest common subsequence becomes not viable because event flows are represented as real-valued times series. So in general case we find zero or a few “common” elements between two sequences using direct comparison despite there are a lot of intuitively “close” elements. Single-type quasi periodic event temporal sequences comparison also begets problem of quasi periodic error function which complicates finding global error minimum and as the result computing the time shift between the sequences.

In domains like healthcare the original sequence of bio-signals events sometimes cannot be observed or measured directly because of different factors so often approximation models are used instead. Proposed similarity metric is needed, e.g., for building and tuning parametric models that produce as output an approximation of some temporal process in the form of event flow. It is supposed that the etalon sequence of events, generated by the process, can be measured only during experimental phase and therefore the problem of the model tuning can be formulated in terms of supervised learning. The specific of this point of view is that the target sequence and the output of the model are two finite real series of not equal length. To run any optimization procedures on two arrays of different length, metric is needed to calculate similarity between these arrays. Also taking into the account the fact that approximation procedures may work for millions of iterations on some domains and model simulation can take a lot of time, proposed similarity metric should be calculated in linear time from the length of the input arrays.

Further in this paper the metric and the algorithm for computing similarity of two single-type quasi periodic event temporal sequences is proposed. This algorithm and the similarity metric were developed for optimization and supervised learning tasks where target variable is a temporal array of not fixed length.

PROBLEM FORMULATION

Suppose we have a process P that generates one type of event with non-constant interval. All event occurrences in some predefined time diapason can be put into ordered sequence of time stamps.

Two sequences of events A and B are given:

$$A = \{t_{a,i}\}_{i=1..K}, \quad B = \{t_{b,i}\}_{i=1..M},$$

where $t_{a,i}$ is time of i^{th} event occurrence in A and $t_{b,i}$ is time of i^{th} event occurrence in B . K and M correspond to lengths of A and B .

It is known that the finite length sequence A is the target sequence of events obtained by the direct event detection from the process during experiment and times $t_{a,i}$ in the sequence have zero lag.

A method exists that gets as input some derivative signal generated by the process P and makes approximations of $t_{a,i}$. The sequence B is obtained as an output of this parametric method. The lengths of A and B usually do not match

and for the same event its occurrence times $t_{a,i}$ and $t_{b,i}$ in A and B are shifted for varying value.

The goal is to create metric and algorithm for A and B similarity evaluation.

METRIC REQUIREMENTS

The metric equals to one for the zero-error method. In this case B sequence should coincide with the sequence A :

- 1) length of A equals to length of B ;
- 2) $t_{a,i} = t_{b,i}$ for all i in I .

If the metric is less than one but greater than zero then either lengths of the sequences do not match or some of times $t_{b,i}$ differ from $t_{a,i}$. The lower the similarity between A and B , the smaller metric value.

The metric value cannot be lower than zero or be greater than one.

DEFINITIONS

Let's call the event $z \in B$ "normal" if it "matches" to the event $z \in A$. We denote the set of normal events through Z .

The event $z \in A$ is called "missed" in B , if this event is not present in B .

The event $z \in B$ is called "odd" (erroneous or false alarm), if this event is not present in A .

In general $K \neq M$. This means that there are either odd events or missed ones. It is also known that the times of the same event occurrence $t_{a,i}$ and $t_{b,i}$ in the sequences A and B may be shifted by a random value δ_i relative to each other (Fig. 1 below)

$$|\delta_i| < |t_{a,i} - t_{b,i}|; \quad t_{a,i} = t_{b,i} - \delta_i.$$

Example of the sequences is shown in the fig. 1 below:

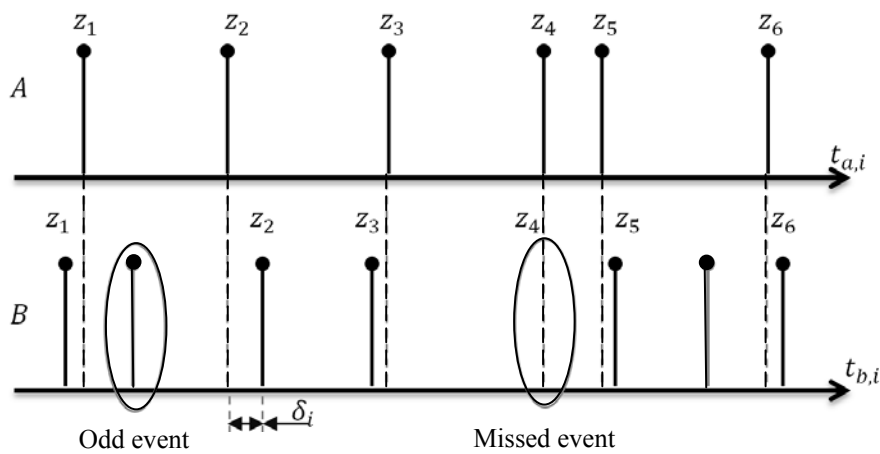


Fig 1. Example of event sequences A and B

In the sequence B the second and penultimate events are odd ones. z_4 event from A is missing in B .

DEFINITION OF "MATCHING EVENT" IN A AND B

It is necessary to introduce the concept of matching events $t_{a,i} \sim t_{b,j} = z$ in two given sequences of real numbers A and B where A is the target sequence of events.

The event $t_{b,j}$ is called **matching (\sim) to the event $t_{a,i} = z$** if:

a) $t_{b,j}$ has a minimum distance δ_i to the event $t_{a,i}$ by comparison with the distances to $t_{a,i-1}$ and to $t_{a,i+1}$, and

b) there are no other events $t_{b,k}$ for which the distance to $t_{a,i}$ would be less than δ_i .

$$\text{if } i = \arg \min_{i \in [1..Card(A)]} |t_{a,i} - t_{b,j}| \text{ and}$$

$$\delta_i = |t_{a,i} - t_{b,j}| = \min_{k \in [1..Card(B)]} |t_{a,i} - t_{b,k}|.$$

$$\text{then } t_{b,j} \sim t_{a,i} = z_i$$

If there are two events $t_{b,j}$ and $t_{b,j+1}$ with equal distances to the event $t_{a,i}$, then the event $t_{b,j}$ will be considered as matching to event $t_{a,i}$.

The fig. 2 shows how target events from sequence A match to approximated events in sequence B . White and shaded areas indicate membership time intervals that correspond to target events z_i from A . All events from B that are present in the time interval corresponding to event z_i are considered to be candidates for normal event.

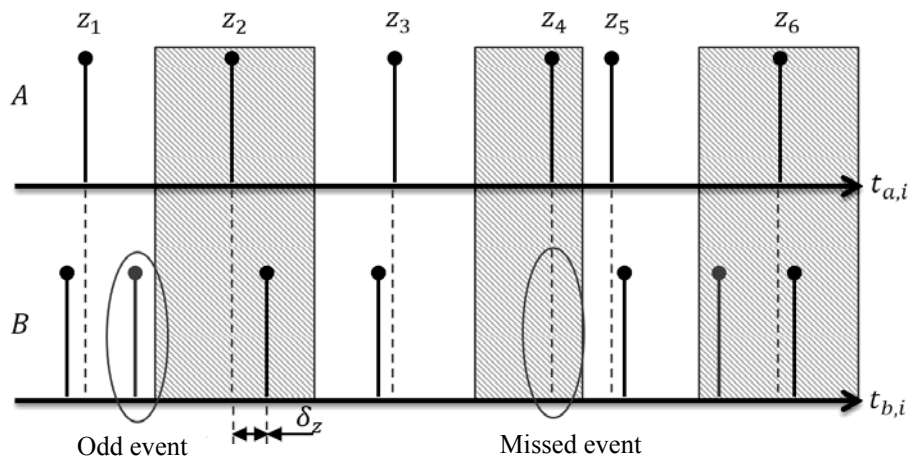


Fig 2. Correspondence of events in A to events in sequence B

DERIVATION OF SIMILARITY METRIC FOR EVENT SEQUENCES

Let $K = M$ and assume that B has no pairs of false events identifications of different types (for example, odd and missed event at the same time) in the entire interval under consideration so that A and B contain only normal events.

In this case, A and B can be treated as two finite real vectors with the same dimensions, where the i^{th} element in each of the vectors corresponds to the i^{th} event. For two real valued vectors with equal lengths a lot of distance and (dis)similarity metrics are available. As an example generalized distance metric can be treated as error or dissimilarity metric:

$$d = \sqrt[m]{\frac{1}{M} \sum_{i=1}^M |t_{a,i} - t_{b,i}|^k}.$$

Depending on m and k we obtain the formulas for calculating arithmetic mean, average and standard deviation.

For normal events from B we define the root mean square error in the form of:

$$RMSE_Z = \sqrt{\frac{\sum_{z \in Z} |\delta_z|^2}{\text{Card}(Z)}},$$

where $\text{Card}(Z)$ is the cardinality of the set Z and it shows the number of normal events in Z . The smaller the RMSE metric value, the more accurate the method.

If $K \neq M$ then at least one missed or one odd event is present in B .

In this case false positives and event omissions should be separated, and then metrics from the theory of classification can be applied. The difference between known metrics and proposed metric is that the theory of classification usually requires the presence of at least two classes of objects and the task is to determine to which of these classes object belongs. But in our case, there is only one class of the event and the method decides in which moments the event occurs so there may be missed events or multiple detections of false alarms. This mainly happens because the method uses indirect evidences to determine sequence B without knowing anything about sequence A .

Suppose we know the true separation of events for B (i.e., we know which of the events are normal, false positives and missing). Then the following metrics can be applied to the sequences of events B and A :

K — total number of events in A ;

TP (true positives) $\in [0..K)$ — the number of normal (coincident) events in B with respect to A . ($TP = \text{Card}(Z)$)

FP (false positives) $\in [0..+\infty)$ — the number of odd events in B (false positives detected by the method). Each event from A can have a lot of false positives in B . (Type I error);

FN (false negatives) $\in [0..K)$ — the number of missed events. (type II error);

Let Acc be the accuracy of finding the set of normal events:

$$Acc = \frac{TP}{TP + FP + FN} = \frac{TP}{K + FN} \in [0, 1].$$

The closer Acc to one, the less erroneous detections of events are present in B .

Let R (Recall) be the percentage of normal events among all target events.

$$R = \frac{TP}{TP + FP} = \frac{TP}{K} \in [0, 1].$$

The closer this metric to one, the more precise method.

$$Acc \leq R.$$

Summarizing the cases described above, we obtain the metric for evaluating the quality of the method on the given two sequences A and B :

$$Q = \frac{Acc}{1 + \alpha RMSE_Z} \in [0, 1] \rightarrow \max.$$

where $\alpha \in [0, +\infty)$ is weight, which determines the prevalence of normal events local shifts error $RMSE_Z$ over the accuracy of finding the set of normal events Z . The higher α the more important becomes precise localization of normal events from B in time. The concrete value of α is calculated for a particular pair of sequences A and B , depending on objectives of the study.

The higher Q the better sequence B approximates the sequence A . This criterion reaches its maximum value of one for two identical sequences of A and B .

ALGORITHM FOR THE Q METRIC CALCULATION

In previous chapter the formula for similarity metric Q between two sequences of events A and B was introduced. The cornerstone of this metric is the algorithm for defining the sets of normal, missed and odd events.

The basic idea of the algorithm is to find the right ($b_{i,\text{right}}$) and left ($b_{i,\text{left}}$) borders or margins for each element $t_{a,i}$ from A and in the resulting interval between these boundaries determine the nearest event $t_{b,j}$ from B . Each of the borders is calculated as the middle of the intervals between adjacent with $t_{a,i}$ events $t_{a,i-1}$ and $t_{a,i+1}$

$$b_{i,\text{left}} = \frac{t_{a,i} + t_{a,i-1}}{2}, \quad 0 < i < K - 1.$$

$$b_{i,\text{right}} = \frac{t_{a,i} + t_{a,i+1}}{2}, \quad 0 < i < K - 1$$

In case $i = 0$ instead of using not existent $t_{a,-1}$, $b_{0,\text{left}}$ is passed to algorithm as input parameter. The same applies to $b_{K,\text{right}}$.

This algorithm after performing calculation on given input sequences A and B , returns three arrays: two arrays with indices of missed and odd events in B and one array with pairs of indices of corresponding normal events. From the third array δ_i are easily calculated. Further the metric Q is calculated according to the formula.

Below the algorithm in Python is presented:

```

def detect_tp(a, b, left_margin=1, right_margin=1):
    miss = [] # Declaration of an empty array
    odd = []
    ijs = []
    j = 0
    for i in range(len(a)):
        b_candidates = []
        l_marg, r_marg = get_margins(a, i, left_margin,
            right_margin)
        # collect odd js
        while len(b) > j and b[j] < l_marg:
            odd.append(j)
            j += 1
        # collect candidate js
        while len(b) > j and l_marg <= b[j] < r_marg:
            b_candidates.append(j)
            j += 1
        # process collected js
        if len(b_candidates) == 0:
            miss.append(i)
        elif len(b_candidates) == 1:
            ijs.append((i, b_candidates[0]))
        else:
            jj = find_best_j_match(b_candidates, a[i], b)
            for k in b_candidates:
                if k != jj:
                    odd.append(k)
                else:
                    ijs.append((i, jj))
        # collect rest bs that are further than the right
        # margin of the last a[-1]
        while len(b) > j:
            odd.append(j)
            j += 1
    return ijs, miss, odd

```

Function **detect_tp** takes two arrays A and B , as well as the left and right default borders as input parameters **left_margin** and **right_margin** for the first and last events in the sequences. After completion, this function returns three sequences: ijs , $miss$ and odd , where ijs is a sequence of pairs (i, j) of indices events $t_{a,i} \in A$ and $t_{b,j} \in B$ where $t_{b,j} \sim t_{a,i} = z_i$.

This function also calls function **get_margins** that calculates margins for i^{th} event $t_{a,i} \in A$

```

def get_margins(a, i, left_margin, right_margin):
    # calculate left margin
    if i == 0 or len(a) <= 1:
        if len(a) == 0:

```

```

        l_marg = 0
    else:
        l_marg = a[i] - left_margin
else: # i>0
    l_marg = (a[i] + a[i - 1]) / 2.0
# calculate right margin
if i == len(a) - 1 or len(a) <= 1:
    if len(a) == 0:
        r_marg = 0
    else:
        r_marg = a[i] + right_margin
else:
    r_marg = (a[i] + a[i + 1]) / 2.0
return l_marg, r_marg

```

The function named **find_best_j_match** is designed for finding the best candidate in array of proposed candidates **b_candidates** from B for given event $t_{a,i}$. It returns the index for the closest event among **b_candidates** to a given event **av** from A .

```

def find_best_j_match(b_candidates, av, b):
    minj = b_candidates[0]
    for k in b_candidates:
        if abs(av - b[minj]) > abs(av - b[k]):
            minj = k
    return minj

```

CONCLUSION

In this paper the metric and the algorithm for computing similarity of two single-type quasi periodic event temporal sequences was described. The procedure as output returns sequence similarity metric and set of corresponding indices pairs of given occurrences of the event showing its most probable location in each of input arrays. The algorithm complexity is $O(M + K)$ where M and K are lengths of input sequences.

Successful modification of existing approaches on dissimilarity metrics over vectors with equal dimensions and their combination with classification metrics for events can be concluded. This process as the result led to creation of single metric for similarity calculation of different length temporal sequences.

The experiments show that the method is performing quite good at separating noisy event occurrences from normal event flow. The described metric Q for calculating similarity between two event series of different length returns intuitively plausible results.

The algorithm for events classification into normal, odd and false positives types works best when the time shift between input sequences is in range of one period of event occurrence. The experiments conducted show that the shift can be automatically minimized by iteratively applying the method of gradient descent using developed metric. The developed metric can be used in single-event

multiple-sequence analysis (MSA) applications including but not limited to optimization and supervised-learning problems.

Further the author plans to research application of proposed metric and algorithm for extracting heart-beats intervals from video.

REFERENCES

1. *Pollock Gary*. Holistic trajectories: a study of combined employment, housing and family careers by using multiple-sequence analysis. *Journal of the Royal Statistical Society, Series A (Statistics in Society)*, 170(1): P. 167–183, 2007.
2. *Mannila H., Moen P.* Similarity between event types in sequences, Proc. First Intl. Conf. on Data Warehousing and Knowledge Discovery (DaWaK'99), Florence, Italy, 1999, P. 271–280.
3. *Moen P.*, Attribute, Event Sequence, and Event Type Similarity Notions for Data Mining, Ph.D. thesis, Department of Computer Science, University of Helsinki, Finland, 2000.

Received 29.11.2016

ПРОГРЕСИВНІ ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ,
ВИСОКОПРОДУКТИВНІ КОМП'ЮТЕРНІ
СИСТЕМИ

PROGRESSIVE INFORMATION TECHNOLOGIES,
HIGH-EFFICIENCY COMPUTER SYSTEMS

УДК 004.031.43

Блокчейн як сервіс для медичних записів / Петренко А.І., Кислий Р.В., Письменний І.О. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2017. — № 3. — С. 7–11.

Зберігання та обмін медичними даними є складним завданням. Незважаючи на різні типи даних, які можуть використовуватися на різних платформах, існує питання про безпеку зібраних даних. Зберігання даних традиційним способом може призвести до витоку даних та їх недоступності в критичні моменти. Подано децентралізований спосіб зберігання даних пацієнта, який може бути використаний для уникнення проблем із безпекою та недоступністю, блокчейн — розподілений та децентралізований облік, який містить зв'язані блоки транзакцій. На відміну від інших підходів до організації обліку блокчейн гарантує захист пам'яті схвалених операцій. Рис.: 1. Бібліогр.: 10 назв.

УДК 004.031.43

Блокчейн как сервис для медицинских записей / Петренко А.И., Кислый Р.В., Письменный И.А.// Системні дослідження та інформаційні технології. — 2017. — № 3. — С. 7–11.

Сохранение и обмен данными в области здравоохранения является сложной задачей. Несмотря на различные типы данных, которые могут использоваться на разных платформах, возникает вопрос безопасности собранных данных. Хранение данных традиционным способом может привести к утечке данных и их недоступности в критические моменты. Представлен децентрализованный способ хранения данных пациента, которые могут использоваться для предотвращения проблем с безопасностью и недоступностью, блокчейн — распределенный и децентрализованный учет, содержащий связанные блоки транзакций. В отличие от других подходов к организации учета блокчейн гарантирует защиту памяти одобренных операций. Рис.: 1. Библиогр.: 10 назв.

УДК 519.925.51

О двукритериальной оптимизации портфеля акций / Гаращенко Ф.Г., Куляня В.Р., Юнькова Е.А. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2017. — № 3. — С. 12–20.

Научное исследование посвящено построению новых и применению существующих методов математического моделирования при решении задачи оптимального инвестирования в рискованные ценные бумаги. Сформулированы новые постановки задач и разработаны методы траекторного моделирования динамики рыночной стоимости одной акции и портфеля акций. При решении задачи моделирования оптимальной траектории портфеля акций применены методы оптимального управления системой, параметрами управления в которой являются части акций разного вида в портфеле. Задачи оптимального управления динамикой портфеля инвестиций сформулированы для критериев качества, один из которых использует «программную траекторию» (решаются задачи построения оптимального по прогнозируемой рыночной стоимости портфеля акций), а другой — отклонение расчетной траектории от терминального значения (рассматривается задача об оптимизации построенного портфеля по риску). Для ее решения применяются допустимое и эффективное множества инвестиционных портфелей. Алгоритм решения задачи позволяет динамич-

но учитывать инструментальные рыночные ограничения, которые формулируются при математической постановке задачи. Рис.: 3. Библиогр.: 4 назв.

UDC 519.925.51

About two-criteria optimization of the stock portfolio / Garashchenko F.G., Kulyan V.R., Iunkova O.O. // System Research and Information Technologies. — 2017. — N 3. — P. 12–20.

This scientific research is devoted to developing the new and known application of mathematical modeling for solving the problem of optimal investment in risky securities. The objectives for new problems are formulated and trajectory modeling methods are constructed for the market value dynamics of a single share and the whole stock portfolio. While solving the problem of modeling the optimal trajectory of the portfolio of shares, methods of optimal system control were utilized in which the fractions of different kinds of shares in the portfolio were used as the control parameters. The problems for the optimal control dynamics of the investment portfolio are formulated for quality criteria, one of which uses “a soft path” and the second - a deviation from the estimated trajectory of the terminal value. Thus, the first part of the work is devoted to solving the problem of constructing the optimal expected market value of the portfolio shares. The second part deals with the problem of optimizing the portfolio based on risk. To solve it, the admissible and effective sets of investment portfolios are applied. The algorithm for solving the problem allows to dynamically take into account the instrumental market constraints that are formulated in the mathematical formulation of the problem. Figs.: 3. Refs: 4 titles.

УДК 681.513.675

Идентификация интенсивности источников загрязнения атмосферы на базе гибридных вычислительных систем / Ильин Н.И., Новиков А.Н. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2017. — № 3. — С. 21–28.

Рассмотрен метод идентификации интенсивности источников химически взаимодействующих загрязняющих примесей с учетом явления самоочищения при достижении предельной концентрации. Для вычислительной реализации показана возможность применения параллельных методов на базе графических ускорителей архитектуры Nvidia CUDA. Метод идентификации источников в совокупности с параллельной вычислительной реализацией с использованием модифицированного метода красно-черного упорядочения (D4) позволяет сократить время моделирования в 12 раз и использования оперативной памяти на 30% при применении графического ускорителя Nvidia c2050 по сравнению с узлом кластера НТУУ «КПИ». Рис. 5. Бібліогр.: 12 назв.

UDC 681.513.675

Identification of the intensity of air pollution sources based on hybrid computer systems / Ilin M.I., Novikov O.M. // System Research and Information Technologies. — 2017. — № 3. — P. 21–28.

The method of identification of the intensity of the sources of chemically interacting pollutants is presented. The implemented model includes the phenomenon of self-purification in reaching the limit concentration. For computational implementation the possibility is shown of using parallel methods based on Nvidia CUDA graphic processing units. The method of source identification combined with the parallel computing implementation using the modified red-black ordering (D4) method reduces simulation time by 12 times and the RAM usage by 30% when using the Nvidia c2050 graphics accelerator in comparison with the node of the NTUU “KPI” cluster. Figs.:5. Refs: 12 titles.

UDC 004.046: 004.896: 004.942: 004.021:042

Особенности реализации сервис-ориентированных приложений в облаке / Петренко О.О. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2017. — № 3. — С. 29–42.

Крупнейший проект по созданию Европейской открытого научно-исследовательского облака (European Open Science Cloud for Research, EOSC), который начался в 2017 г. и базируется на сервис-ориентированном подходе, мотивирует исследования технологий размещения SOA прикладных приложений в облаке. Приведены базовые различия традиционных SOA первого поколения (на основе веб-сервисов с унифицированными протоколами связи) и облачных SOA нового поколения (на основе микросервисов с контейнерами), которые необходимо учитывать при перемещении SOA приложений в облако. Рис.: 4. Табл.: 3. Библиогр.: 26 назв.

UDC 004.046: 004.896: 004.942: 004.021:042

Features of service-oriented applications in the cloud / Petrenko O.O. // System Research and Information Technologies. — 2017. — № 3. — P. C. 29–42.

The largest European project of building the European Open Science Cloud for Research (EOSC), which started in 2017 and is based on a service-oriented approach, motivates research on moving SOA practical applications to the cloud. Therefore, in this work, the basic differences between the traditional first generation SOA (based on Web services with standardized communications protocols) and the new generation of cloud SOA (based on microservices and containers) that must be taken into account during moving SOA applications to the cloud. Figs.: 4. Tables: 3. Refs: 26 titles.

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

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

УДК 336.646/648, 330.4

Оцінка компаній на основі дисконтованих фінансових потоків і її залишкової вартості в умовах нечітких даних / Зак Ю.О. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2017. — № 3. — С. 43–56.

Під час використання прибуткового методу оцінювання вартості бізнесу ряд показників обсягів очікуваних грошових потоків, величин коефіцієнтів дисконтування, а також величини «дисконтованого доходу» в кожен рік експлуатації і за весь прогнозований період, протягом якого інвестор передбачає володіти бізнесом, і залишкової вартості активів подані нечіткими множинами з функціями належності прямокутного, трикутного і трапецієподібного типу. На основі методів fuzzy-арифметики і апарату дискретних fuzzy-марківських ланцюгів розраховані результуючі нечіткі множини, що визначають оцінки вартості бізнесу з позицій як конкретного інвестора, так і володаря бізнесом. На відміну від відомих підходів уведений в роботу діапазон прогнозованих обома сторонами значень можливих ринкових вартостей бізнесу забезпечують допустимий кожною зі сторін ступінь ризику можливих втрат прибутку, вирішення питань доцільності подальших переговорів і визначення граничних значень вартості для кожної зі сторін. Рис.: 4. Табл.: 3. Бібліогр.: 10 назв.

UDC 336.646/648, 330.4

Company valuation based on discounted financial flows and its residual value under fuzzy data / Zack Y.A. // System Research and Information Technologies. — 2017. — N 3 — P. 43–56.

When using a profitable method for estimating the value of a business, a number of indicators of the volumes of expected cash flows, the values of the discount coefficients,

as well as the amount of “discounted income” in each year of operation and for the entire forecasted period during which the investor expects to own the business and the residual value of assets are fuzzy sets with Functions belonging to a rectangular, triangular and trapezoidal type. Based on the methods of fuzzy arithmetic and the apparatus of discrete Fuzzy-Markov chains, the resulting fuzzy sets are calculated, which determine the valuation of the business from the standpoint of a specific investor and from the point of view of the owner by the business. Unlike the known approaches, the ranges of possible market values of business predicted by both parties ensure the acceptable by each side risk of possible loss of profit, solve the questions of expediency of further negotiations and determine the boundaries for values for each of the parties. Figs.: 4. Tables: 3. Refs: 10 titles.

УДК 681.3

Створення корпоративної мережі для компонувальною схеми технологічного парку вищого навчального закладу / Мамедов Дж.Ф., Алієва А.Г. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2017. — № 3. — С. 57–62.

Розглянуто питання щодо створення корпоративної мережі в межах пропонованої компонувальною схеми технологічного парку на базі Сумгайтського державного університету (СДУ). Визначено основні вимоги ефективного функціонування технологічного парку у вищих навчальних закладах. Обґрунтовано створення корпоративної мережі в технологічному парку на базі функціональних підсистем освітнього, науково-дослідного, виробничого і економічного призначення, яка забезпечувала б ефективне автоматизоване інформаційну взаємодію підсистем технопарку СДУ, а також планування інформаційних потоків між цими підрозділами. Запропоновано структуру технічного забезпечення на основі обраних засобів для організації надійної корпоративної мережі технологічного парку, а також структуру схематичного розміщення технічних засобів корпоративної мережі на базі UniFi в технопарку СДУ. Рис.: 4. Табл.: 1. Бібліогр.: 6 назв.

UDC 681.3

Creation of a corporative network for the composes scheme of the technological park of a higher educational school / Mamedov J.F., Aliyeva A.G. // System Research and Information Technologies. — 2017. — № 3. — P. 57–62.

The problem of creating a corporate network of the proposed composes scheme of the technological park on the basis of the Sumgait State University is considered in the article. The main requirements for the effective functioning of the technological park in higher educational establishments are determined. The creation of a corporate network in a technology park based on functional subsystems of educational, research, production and economic purposes, which would ensure effective automated information interaction of the subsystems of the SSU industrial park, and also planning information flows between these divisions, is justified. The structure of technical support on the basis of the chosen means for the organization of a reliable corporate network of the technological park is proposed. The structure of the schematic deployment of technical units of the corporate network on the basis of UniFi in the technopark of the Sumgait State University is proposed. Figs.: 4. Tables: 1. Refs: 6 titles.

УДК 519.713: 631.411.6

Формирование знания-ориентированного информационного обеспечения исследований сложных систем / Козуля Т.В., Шаронова Н.В., Козуля М.М. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2017. — № 3. — С. 63–72.

Выполнен анализ существующих методов и моделей для объектов социально-эколого-экономического содержания и формирования знания-ориентированной сис-

темы для принятия решений на основе идентификации знаний. Представлено информационно-алгоритмическое обеспечение практического применения управления системным объектом любого уровня сложности в условиях неопределенности информации. Рассмотрен процесс обоснования целесообразности обращения при моделировании поведения системного объекта к положениям синергетики и теории нелинейных процессов функционирования сложных систем. Разработан проект знания-ориентированной системы информационно-программного обеспечения обработки информации для исследования сложных систем. Рис.: 6. Библиогр.: 14 назв.

UDC 519.713: 631.411.6

Knowledge-based information support formation for complex systems research / Kozulia T.V., Sharonova N.V., Kozulia M.M. // *System Research and Information Technologies*. — 2017. — № 3. — P. 63–72.

This paper presents existing methods and models for the analysis of objects of social, ecological and economic nature and formation of the knowledge-based system for decision-making based on knowledge identification. The information and algorithmic support for practical management application of an arbitrary level complexity system object under conditions of the information uncertainty is presented. The justification process for employment feasibility of provisions from the synergetics and nonlinear theory of complex systems while modeling the system object's behavior is considered. The project is developed of the knowledge-based information-software system that provides the information processing for complex systems research. Figs.: 6. Refs: 14 titles.

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ПРИКЛАДНІ ПРОБЛЕМИ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ СИСТЕМ ПІДТРИМКИ
ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

THEORETICAL AND APPLIED PROBLEMS OF
INTELLECTUAL SYSTEMS FOR DECISION
MAKING SUPPORT

УДК 519.8

Особенности принятия решений человеком для решения сложных междисциплинарных проблем / Горбачук В.М., Макаренко О.С. // *Системные исследования и информационные технологии*. — 2017. — № 3. — С. 73–87.

Проанализированы особенности принятия решений человеком, на которые обращали внимание Д. Канеман и В. Смит. Рассмотрены ограничения предположения конструктивистской рациональности, которое лежит в основе классической экономической теории, когда постулируется рациональность поведения всех ее участников, каждому из которых всегда удастся максимизировать свою функцию полезности. Обсуждены связи между внутренним порядком мышления (тем, как работает разум или мозг) и поведением в условиях индивидуального принятия решений, социального взаимодействия, рыночных институтов. Предложены некоторые дальнейшие направления исследований и постановки, а также возможности новых постановок задач междисциплинарной направленности, включая системный анализ и моделирование. Приведены результаты исследований по экспериментальной экономике по наблюдению возникающего порядка в исследованиях существующих рыночных институтов. Рассмотрены конструктивная и экологическая рациональность, нейроэкономика и возможности их взаимовлияния. Библиогр.: 84 назв.

UDC 519.8

The features of human decision making for complex interdisciplinary problems solution / Gorbachuk V.M., Makarenko O.S. // *System Research and Information Technologies*. — 2017. — № 3. — P. 73–87.

The peculiarities of decision making by a person, considered by D. Kaneman and V. Smith, were analyzed. The limitation of the assumption of constructivist rationality underlying the classical economic theory, when postulating the rationality of the behavior

of all its participants, each of which always manages to maximize its utility function, is considered. The connection between the internal way of thinking (how the mind or brain works) and the behavior in the conditions of individual decision-making, social interaction, market institutions are discussed. Some further directions of research and settings are proposed along with the opportunities for new formulations of interdisciplinary tasks, including system analysis and modeling. The results of research on the experimental economy from the observation of its state in the studies of existing market institutions are presented. Constructive and environmental rationality, neuroeconomics and possibilities of their mutual influence are considered. Refs.: 84 titles.

УДК 519.85

Інтелектуальна візуальна 3D+ поліглот-концепція програмування без мов програмування / Вельбицький І.В. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2017. — № 3. — С. 88–106.

Запропоновано просту, інтелектуальну і математично строгу концепцію програмування орієнтованими графами з тільки горизонтальних дуг, на яких зверху і знизу записуються тексти будь-якими мовами — російською, англійською, китайською, математичною та ін. Математична мова строго визначена як частина елементарної математики, яка задає вирази і формули для запису умов і дій на графічних дугах нової концепції і виконання їх на комп'ютері. Традиційні мови програмування не використовуються, але їх бібліотеки (інтелект) зберігаються з можливістю доступу до них з графічних програм з використанням відповідних функцій з параметрами або без. Будь-яка програма з цієї бібліотеки може бути автоматично переведена в єдину нову графічну оболонку. Такий граф є інтелектуальним поліглотом, він може бути 3D+, має стандарт ISO 8631/1989, і тільки один ефективно використовується протягом всього життєвого циклу процесу розроблення, виконання та експлуатації програм. У новій концепції використовується єдиний математичний (графічний) метод для запису алгоритмів, даних, програм і мережевих графіків їх розроблення, який має набагато кращі (до 100+ раз) характеристики з наочності, простоти, компактності, швидкості їх введення в комп'ютер і ефективності отриманого в результаті комп'ютерного коду. Наведено історію виникнення та перевірки нової концепції, опис її суті, реалізованої у графічному середовищі програмування і думки деяких експертів та користувачів про переваги її використання. Рис.: 23. Бібліогр.: 12 назв.

UDC 519.85

Smart visual 3D+ polyglot-concept of programming without programming languages / Velbitsky I.V. // System Research and Information Technologies. — 2017. — № 3. — P. 88–106.

It is proposed to use a new simple, smart, and mathematically rigorous programming concept by oriented graphs consisting of only horizontal arcs, on which from above and below texts are recorded in any languages – Russian, English, Chinese, Mathematical, etc. The mathematical language is strictly defined as part of elementary mathematics (its expressions and formulas for recording conditions and actions) that can be written on the graphical arcs of the new concept and executed on the computer. Traditional programming languages are not used, but their libraries (intelligence) are saved with the ability to access them from graphics programs using appropriate functions with or without parameters. Any program from this library can be automatically translated into a single new graphical sheath. Such a graph is an intellectual polyglot, it can be 3D+, has the ISO 8631/1989 standard and only one is effectively used throughout the life cycle of the process of developing, executing and using the programs. The new concept uses a single mathematical (graphical) method for recording algorithms, data, programs and network

graphs of their development, which has much better (up to 100+ times) characteristics by clarity, simplicity, compactness, speed of entering them into the computer and, as a result, the efficiency of the generated computer code. The article gives the history of the appearance and verification of a new concept, a description of its essence, the implemented environment for graphic programming and the benefits of its use. Figs.: 23. Refs: 12 titles.

МАТЕМАТИЧНІ МЕТОДИ, МОДЕЛІ, ПРОБЛЕМИ І
ТЕХНОЛОГІЇ ДОСЛІДЖЕННЯ СКЛАДНИХ
СИСТЕМ

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

УДК 519.8:502.3

Оптимизация структуры инвестиционного портфеля в природопользовании на основе попарного сравнения альтернатив с учетом риска неиспользованных возможностей / Стефанишин Д.В., Стефанишина-Гаврилюк Ю.Д. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2017. — № 3. — С.107–116.

Предложен метод формирования множества эффективных портфелей и выбора оптимальной структуры инвестиционного портфеля по критерию минимального риска на основе попарного сравнения альтернатив с учетом риска неиспользованных возможностей. Задача решается на примере сравнения по риску структур инвестиционных портфелей, названных базовыми, объединяющих три направления инвестирования в природопользовании и учитывающих три разных типа отношения лица, принимающего решение, к риску: несклонность, склонность и равнодушие к риску. Показано, что в случае трех направлений инвестирования с учетом риска неиспользованных возможностей разными способами в контексте учета психологической позиции лица, принимающего решение, к риску в целом и к риску неиспользованных возможностей в частности может быть сформировано конечное множество альтернативных структур эффективных портфелей (альтернатив), среди которых существует оптимальная на основе попарного сравнения по критерию минимального риска альтернатива. Рис.: 3. Табл.: 1. Библиогр: 18 назв.

UDC 519.8:502.3

Optimization of the investment portfolio in natural resources use based on pairwise comparison of alternatives taking into account the risk of lost opportunities / Stefanyshyn D.V., Stefanyshyna-Gavryliuk Yu.D. // System Research and Information Technologies. — 2017. — № 3. — P. 107–116.

A method of forming a set of effective portfolios and choosing the optimal structure of the investment portfolio according to the minimal risk criterion based on the pairwise comparison of alternatives taking into account the risk of lost opportunities was proposed. The problem is solved using as an example the comparison by the risk of structures of the investment portfolios, which are called the basis structures, which combine three investment directions in nature resources use taking into account three different types of decision maker's attitude toward the risk: the risk aversion, predisposition, and indifference. It is shown that in the case of three directions of investment while taking into account the risk of lost opportunities in various ways in the context of accounting for decision maker's position to the risk in general and to the risk of lost opportunities in particular, a finite set of alternative structures of efficient portfolios (alternatives) can be formed, where the optimal alternative exists that is based on the pairwise comparison according to the criterion of the minimum risk. Figs.: 3. Tables: 1. Refs: 18 titles.

УДК 539.3

Математичне моделювання і аналіз напруженого стану в ортотропному п'єзоелектричному середовищі з круговою тріщиною / Кирилюк В.С., Лев-

чук О.І., Гавриленко О.В. // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2017. — № 3. — С. 117–126.

Развинуто математичну модель для аналізу напруженого стану в ортотропному електропружному матеріалі з круговою (дископодібною) тріщиною. Модель базується на розгляді зв'язаної системи рівнянь елек-тропружності. Розглянуто задачу про електричний та напружений стани в ортотропному електропружному просторі з круговою тріщиною за силових та електричних навантажень. Розв'язок задачі отримано за допомогою використання потрібного перетворення Фур'є та Фур'є-образу функції Гріна для нескінченного ортотропного п'єзоелектричного середовища. Тестування підходу виконувалося для випадку розміщення тріщини у площині ізотропії трансверсально-ізотропного п'єзоелектричного матеріалу, для якого існує точний розв'язок задачі. Порівняння результатів обчислень підтверджує високу ефективність використаного підходу. Проведено числові дослідження, вивчено розподіл коефіцієнтів інтенсивності напружень уздовж фронту кругової тріщини в електропружному ортотропному матеріалі та пружних ортотропних матеріалах за однорідних навантажень. Рис.: 3. Бібліогр.: 30 назв.

UDC 539.3

Mathematical modeling and analysis of the stressed state in the orthotropic piezoelectric medium with a circle crack / Kirilyuk V.S., Levchuk O.I., Gavrilenko O.V. // System Research and Information Technologies. — 2017. — № 3. — P. 117–126.

A mathematical model for the analysis of the stress state in an orthotropic electroelastic material with a circular (penny-shaped) crack is developed. The model is based on the consideration of the coupled system of electroelasticity equations. The problem on electric and stress states in orthotropic piezoelectric space with an elliptical crack under the force and electric loading was considered. The solution of the problem was obtained by means of using of the triple Fourier transform and Fourier image of Green's function for an infinite orthotropic piezoelectric medium. The approach was tested in the case of the location crack in the isotropy plane of transversely isotropic piezoelectric material for which there was an exact solution of the problem. The comparison of the calculated results confirmed the high efficiency of the used approach. Numerical experiments were conducted and distributions of stress intensity factors along elliptical crack front in orthotropic piezoelectric materials and elastic orthotropic materials under uniform force loading were investigated. Figs.: 3. Refs: 30 titles.

УДК 004.021, 004.052

Метрика та алгоритм для розрахунку подібності двох часових послідовностей подій / С.С. Николаєв // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2017. — № 3. — С. 127–135.

У деяких програмах з аналізу часових потоків подій виникає проблема вимірювання «подібності» послідовностей цих подій. У роботі під терміном «послідовність подій» розуміється упорядкований скінченний масив моментів виникнення події в часі. Подано метрику й алгоритм обчислення подібності між двома упорядкованими послідовностями подій. Описано процедуру, за якою розраховуються міра подібності двох потоків подій і набір пар індексів, що показують відповідні моменти виникнення події в кожній з цих послідовностей. Рис.: 2. Бібліогр.: 3 назв.

УДК 004.021, 004.052

Метрика и алгоритм для расчёта подобия двух временных последовательностей событий / С.С. Николаев // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2017. — № 3. — С. 127–135.

У некоторых программах по анализу временных потоков событий возникает проблема измерения «сходства» последовательностей этих событий. В работе под

термином «последовательность событий» понимается упорядоченный конечномерный массив моментов возникновения события во времени. Представлены метрика и алгоритм вычисления подобия между двумя упорядоченными последовательностями событий. Описана процедура, по которой рассчитываются мера сходства двух потоков событий и набор пар индексов, показывающих соответствующие моменты возникновения события в каждой из этих последовательностей. Рис.: 2. Библиогр.: 3 назв.

ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

Алієва Арзу Габіл гизи,

асистент кафедри інформаційних технологій та програмування Сумгайтського державного університету, Азербайджанська Республіка, Сумгаїт

Вельбицький Ігор В'ячеславович,

професор, доктор фізико-математичних наук, президент Фонду Глушкова, Україна, Київ

Гавриленко Олена Валеріївна,

кандидат фізико-математичних наук, доцент факультету інформатики та обчислювальної техніки КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, Київ

Гаращенко Федір Георгійович,

професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри моделювання складних систем факультету комп'ютерних наук та кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Україна, Київ

Горбачук Василь Михайлович,

старший науковий співробітник, доктор фізико-математичних наук, старший науковий співробітник Інституту кібернетики імені В.М. Глушкова НАН України, Київ

Зак Юрій Олександрович,

доктор технічних наук, науковий експерт і консультант, Німеччина, Аахен

Ільїн Микола Іванович,

науковий співробітник Фізико-технічного інституту КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, Київ

Кирилюк Віталій Семенович,

старший науковий співробітник, доктор фізико-математичних наук, провідний науковий співробітник відділу механіки стохастично-неоднорідних середовищ Інституту механіки імені С.П.Тимошенка НАНУ, Україна, Київ

Кислий Роман Володимирович,

аспірант кафедри системного проектування ННК «ІПСА» КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, Київ

Козуля Марія Михайлівна,

кандидат технічних наук, доцент кафедри інтелектуальних комп'ютерних систем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Україна, Харків

Козуля Тетяна Володимирівна,

професор, доктор технічних наук, професор кафедри комп'ютерного моніторингу і логістики Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Україна, Харків

Кулян Віктор Романович,

доцент, кандидат технічних наук, доцент кафедри моделювання складних систем факультету комп'ютерних наук та кібернетики Київського національного університету імені Тараса Шевченка, Україна, Київ

Левчук Ольга Іванівна,

старший науковий співробітник, кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник відділу механіки стохастично-неоднорідних середовищ Інституту механіки імені С.П.Тимошенка НАНУ, Україна, Київ

Макаренко Олександр Сергійович,

професор, доктор фізико-математичних наук, завідувач відділу ННК «ІПСА» КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, Київ

Мамедов Джаваншир Фірудін огли,

професор, доктор технічних наук, професор кафедри інформаційних технологій та програмування Сумгайтського державного університету, Азербайджанська Республіка, Сумгаїт

Ніколаєв Сергій Сергійович,

аспірант ННК «ІПСА» КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, Київ

Новіков Олексій Миколайович,

професор, доктор технічних наук, проректор з науково-навчальної роботи КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, Київ

Петренко Анатолій Іванович,

професор, доктор технічних наук, завідувач відділу інформаційних ресурсів і кафедри системного проектування ННК «ІПСА» КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, Київ

Петренко Олексій Олексійович,

аспірант кафедри системного проектування ННК «ІПСА» КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, Київ

Письменний Ігор Олександрович,

аспірант кафедри системного проектування ННК «ІПСА» КПІ ім. Ігоря Сікорського, Україна, Київ

Стефанишин Дмитро Володимирович,

доктор технічних наук, провідний науковий співробітник Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ

Стефанишина-Гаврилюк Юлія Дмитрівна,

аспірантка Інституту телекомунікацій і глобального інформаційного простору НАН України, Київ

Череватенко Антоніна Павлівна,

асистент кафедри системного аналізу і управління Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет», Україна, Дніпро

Шаронова Наталія Валеріївна,

професор, доктор технічних наук, завідувач кафедри інтелектуальних комп'ютерних систем Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», Україна, Харків

Юнькова Олена Олександрівна,

доцент, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри економіко-математичного моделювання Київського національного економічного університету імені Вадима Гетьмана, Україна, Київ