

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

MINISTRY OF EDUCATION
AND SCIENCE OF UKRAINE

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

**Вісник Національного
технічного університету
«ХПІ». Серія: Системний
аналіз, управління та
інформаційні технології**

№ 22 (1298) 2018

Збірник наукових праць

Видання засноване у 1961 р.

**Bulletin of the National
Technical University
"KhPI". Series: System
analysis, control and
information technology**

No. 22 (1298) 2018

Collection of Scientific papers

The edition was founded in 1961

Харків
НТУ «ХПІ», 2018

Kharkiv
NTU "KhPI", 2018

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології = Bulletin of the National Technical University "KhPI". Series: System analysis, control and information technology : зб. наук. пр. / Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». — Харків : НТУ «ХПІ», 2018. — № 22 (1298) 2018. — 74 с. — ISSN 2079-0023.

Видання присвячене освітленню досягнень в галузі системного аналізу та управління технічними, техніко-економічними і соціальними системами, синтезу систем керування. Публікуються статті, що стосуються розробки інтелектуальних систем, застосування математичного моделювання в техніці, лінгвістиці та економіці, впровадження інформаційних технологій і розробки програмного забезпечення.

Для науковців, викладачів вищої школи, аспірантів, студентів і фахівців в галузі системного аналізу, управління і комп'ютерних технологій.

The publication is devoted to the coverage of achievements in the field of system analysis and management of technical, technoeconomic and social systems, the synthesis of control systems. Articles are published on the development of intelligent systems, the application of mathematical modeling in technic, linguistics and economics, the introduction of information technology and software development.

For scientists, teachers of higher education, post-graduate students, students and specialists in the field of systems analysis, management and computer technology.

Державне видання.

Свідоцтво Держкомітету з інформаційної політики України

КВ № 5256 від 2 липня 2001 року.

Мова статей – українська, російська, англійська.

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології внесено до «Переліку наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора і кандидата наук», затвердженого Наказом МОН України № 1328 від 21.12.2015 р. «Про затвердження рішень Атестаційної колегії Міністерства щодо діяльності спеціалізованих вчених рад від 15 грудня 2015 року».

Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології включений до зовнішніх інформаційних систем, у тому числі в наукометричну базу даних Index Copernicus (Польща), бібліографічну бази даних OCLC WorldCat (США), Eurasian Scientific Journal Index (Казахстан), індексується Research Bib (Японія), CiteFactor (Academic Scientific Journals), SIS (Scientific Indexing Services), General Impact Factor (Індія) і Google Scholar; зареєстрований у світовому каталозі періодичних видань бази даних Ulrich's Periodicals Directory (New Jersey, USA).

Офіційний сайт видання: <http://samit.khpi.edu.ua/>

Засновник

Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»

Founder

National Technical University
"Kharkiv Polytechnic Institute"

Головний редактор

Сокол Є. І., д-р техн. наук, чл.-кор. НАН України, НТУ «ХПІ», Україна

Заст. головного редактора

Марченко А. П., д-р техн. наук, проф., НТУ «ХПІ», Україна

Секретар

Горбунов К. О., доц., НТУ «ХПІ», Україна

Редакційна колегія серії

Відповідальний редактор:

Годлевський М. Д., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Відповідальний секретар:

Безменов М. І., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Члени редколегії:

Александрова Т. Є., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Бентаєб Ф., доц., Ліонський університет-2, Франція

Богомолів С., доц., Австралійський національний університет, Австралія

Гамаюн І. П., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Дідманідзе І., проф., Батумський держ. ун-т ім. Шота Руставелі, Грузія

Дорофєєв Ю. І., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Керстен В., проф., Гамбурзький технологічний університет, Німеччина

Кононенко І. В., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Куценко О. С., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Любчик Л. М., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Павлов О. А., проф., НТУУ «КПІ», Україна

Северин В. П., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Ткачук М. В., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Хайрова Н. Ф., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Шаронова Н. В., проф., НТУ «ХПІ», Україна

Editor-in-chief

Sokol E. I., dr. tech. sc., member-cor. of National Academy of Sciences of Ukraine, NTU "KhPI", Ukraine

Deputy editor-in-chief

Marchenko A. P., dr. tech. sc., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Secretary

Gorbunov K. O., docent, NTU "KhPI", Ukraine

Editorial staff

Associate editor:

Godlevskiy M. D., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Executive secretary:

Bezmenov M. I., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Editorial staff members:

Aleksandrova T. E., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Bentayeb F., Associate Professor, University of Lyon-2, France

Bogomolov S., Assistant Professor, Australian National University, Australia

Gamayun I. P., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Didmanidze I., prof., Batumi Shota Rustaveli State University, Georgia

Dorofieiev Yu. I., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Kersten W., Prof., Hamburg University of Technology, Germany

Kononenko I. V., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Kutsenko O. S., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Lyubchik L. M., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Pavlov O. A., prof., NTUU "KPI", Ukraine

Severin V. P., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Tkachuk M. V., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Khairova N. F., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Sharonova N. V., prof., NTU "KhPI", Ukraine

Рекомендовано до друку Вченою радою НТУ «ХПІ». Протокол № 6 від 06 липня 2018 р.

UDC 519.2

B. ARSLAN, R. GAMZAYEV, E. KARAÇUHA, M. TKACHUK**ALGORITHMS AND SOFTWARE SOLUTIONS FOR SQL INJECTION VULNERABILITY TESTING IN WEB APPLICATIONS**

Software security gains importance day by day and developers try to secure web applications as much as possible to protect confidentiality, integrity and availability that are described in the fundamental security model so-called CIA triad. SQL injection vulnerability which can violate the confidentiality and integrity principles of the CIA triad is reviewed, and SQL injection attack execution and protection techniques are explained. The common frameworks' solutions against SQL injection vulnerability were compared, and this comparison shown the most used techniques in this domain. Error-based and time-based detection algorithms for SQL injection's identification are developed to create a vulnerability scanner that can detect SQL attacks which cause vulnerability in web applications, and these algorithms are represented in form of UML-activity diagrams. In order to discover all possible links and forms to perform SQL injection vulnerability tests in the entire website, a web crawler is needed. Breadth-First Search (BFS) algorithm for developing the web crawler is proposed, and the appropriate pseudo code and activity diagram are provided. Besides, Common Vulnerability Scoring System (CVSS) that is used to measure severity score of attacks that can violate CIA triad principles is reviewed. Qualitative severity score rating scale of CVSS is explained. An example of CVSS calculation is represented. Necessary components of a vulnerability scanner are explained. A vulnerability scanner prototype is developed using explained algorithms. Process results of this vulnerability scanner's usage for real web applications are represented. Conclusions are made, and goals of future work are defined.

Keywords: software security, web application, vulnerability, scanner, CIA triad, SQL injection, error-based detection, time-based detection, web-crawler, BFS-search algorithm, common vulnerability scoring system.

Б. АРСЛАН, Р. А. ГАМЗАЕВ, Е. КАРАКУХА, М. В. ТКАЧУК**АЛГОРИТМИ ТА ПРОГРАМНІ РІШЕННЯ ДЛЯ ТЕСТУВАННЯ ВРАЗЛИВОСТІ В ІНТЕРФЕЙСІ SQL У ВЕБ-ПРОГРАМАХ**

Безпека програмного забезпечення щоденно набуває все більшого значення, і розробники намагаються максимально захистити веб-програми, щоб забезпечити їх конфіденційність, цілісність та доступність, які описані в основній моделі безпеки так званої тріади CIA. Розглянута вразливість SQL-ін'єкцій, яка може порушувати принципи конфіденційності та цілісності тріади ЦРУ та пояснюються виконання SQL-атак та методи захисту від них. Було проведено порівняння загальних структурних рішень для усунення вразливості SQL-ін'єкцій, яке виявило найпоширеніші технології у цій галузі. Розроблені алгоритми виявлення на основі помилок та на основі виміри часу для ідентифікації SQL-ін'єкцій для створення сканера вразливості, який може виявити SQL-атаки, що викликають уразливість в веб-додатках, і ці алгоритми представлені у формі UML-діаграм активності. Щоб виявити всі можливі посилання та форми для виконання тестів вразливості на всьому веб-сайті, потрібен пошуковий веб-робот. Запропоновано алгоритм Breadth-First Search (BFS) для розробки веб-сканера, для нього наведено псевдокод та діаграма активності. Розглядається система загальної оцінки вразливості (CVSS), яка використовується для вимірювання ступеня тяжкості атак, що можуть порушувати принципи захисту тріади ЦРУ. Роз'яснено якісну оціночну шкалу CVSS. Представлений приклад розрахунку CVSS. Розроблено прототип сканера вразливості з використанням запропонованих алгоритмів. Результати застосування цього сканера вразливості представлені прикладами оцінки реальних веб-застосувань. Зроблено висновки, визначені цілі майбутньої роботи.

Ключові слова: безпека програмного забезпечення, веб-застосування, вразливість, сканер, тріада ЦРУ, SQL-ін'єкція, визначення на основі помилок, визначення на основі вимірів часу, загальна модель безпеки, пошуковий веб-робот, BFS - алгоритм пошуку, загальна система оцінки вразливості.

Б. АРСЛАН, Р. А. ГАМЗАЕВ, Э. КАРАКУХА, Н. В. ТКАЧУК**АЛГОРИТМЫ И ПРОГРАММНЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ТЕСТИРОВАНИЯ УЯЗВИМОСТИ В SQL-ИНЪЕКЦИЯХ В ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЯХ**

Безопасность программного обеспечения ежедневно приобретает все большее значение, и разработчики стараются максимально защитить веб-приложения, чтобы обеспечить их конфиденциальность, целостность и доступность, которые описаны в основной модели безопасности так называемой триады ЦРУ. Рассмотрена уязвимость SQL-инъекций, которая может нарушать принципы конфиденциальности и целостности триады ЦРУ, и объясняются как выполнение SQL-атак так и методы защиты от них. Было проведено сравнение общих структурных решений для устранения уязвимости SQL-инъекций, которое выявило самые распространенные технологии в этой области. Разработанные алгоритмы обнаружения на основе ошибок и на основе измерения времени для идентификации SQL-инъекций для создания сканера уязвимости, который может обнаружить SQL-атаки, вызывающие уязвимость в веб-приложениях, и эти алгоритмы представлены в форме UML-диаграмм активности. Чтобы выявить все возможные ссылки и формы для выполнения тестов уязвимости на всем сайте, нужен поисковый веб-робот. Предложен алгоритм Breadth-First Search (BFS) для разработки веб-сканера, для него приведены псевдокод и диаграмма активности. Рассматривается система общей оценки уязвимости (CVSS), которая используется для измерения степени тяжести атак, которые могут нарушать принципы защиты триады ЦРУ. Разъяснено качественную оценочную шкалу CVSS. Представлен пример расчета CVSS. Разработан прототип сканера уязвимости с использованием предложенных алгоритмов. Результаты применения этого сканера уязвимости представлены примерами оценки реальных веб-приложений. Сделаны выводы, определены цели будущей работы.

Ключевые слова: безопасность программного обеспечения, веб-приложение, уязвимость, сканер, триада ЦРУ, SQL-инъекция, определение на основе ошибок, определение на основе измерений времени, общая модель безопасности, поисковый веб-робот, BFS - алгоритм поиска, общая система оценки уязвимости.

Introduction: Problem Actuality and Research Goal. In direct proportion to the popularity of web applications, information security gains importance to protect the data from adversaries, because insecure

applications can leak sensitive information to their users. This information can be used by adversaries to manipulate the data for different motivations [1], such as; curiosity, wealth, recognition, national security, etc. The

© B. Arslan, R. A. Gamzaev, E. Karaçuha, M. V. Tkachuk, 2018

fundamental security model [2] which is also referred as CIA triad, is designed to provide a baseline standard for evaluating and implementing information security regardless of the underlying system. CIA triad has three main principles [2] as follows:

- (1) Confidentiality is the protection of information from unauthorized access. Confidentiality principle states that access to information must be granted only on a “need-to-know” basis, so that information which is only available to some individuals should not be accessible by everyone;
- (2) Integrity is maintaining the consistency, accuracy and trustworthiness of the information over its entire life-cycle. Integrity principle makes sure that the information is not tampered whenever it travels from source to destination or even at rest;
- (3) Availability principle ensures that the information concerned is readily accessible to authorized individuals when it is needed.

In order to have a wider perspective on the subject, web application vulnerabilities are classified by the main phases of each software development life cycle as shown in Fig. 1. This classification does not show all existing vulnerabilities. Instead, it contains the most commonly known and dangerous vulnerabilities.

In this paper, implementation caused SQL injection (SQLI) vulnerability that can violate confidentiality (1) and integrity (2) principles of the CIA triad is analyzed. SQLI vulnerability analysis includes the attack execution, countermeasures against such attack and solutions that are applied by commonly used frameworks to secure applications against such attacks.

Moreover, error-based and time-based SQLI vulnerability detection algorithms are developed and explained. The main purpose for these detection algorithms is to develop a vulnerability scanner (VS) that will simplify penetration testers’ job to find vulnerabilities. That is why, it is also important to discover all links and forms in the targeted website for SQLI vulnerability detection test executions. Therefore, Breadth-First Search (BFS) [4] algorithm is used to develop a web crawler to explore the targeted website for SQLI tests to be performed. Furthermore, Common Vulnerability Scoring System [5] (CVSS) is analyzed to give testers an opportunity to measure severity score of attacks to compare different possible attack scenarios to

find out the most dangerous one for the application. This will help to prioritize vulnerabilities for developers to apply countermeasures.

Ultimately, the main research goal of this paper is to consider SQLI attack execution, its countermeasures, commonly used frameworks’ solutions and to develop algorithms for exploring the targeted website and for performing SQLI vulnerability detection tests.

Overview of the SQLI vulnerability. Any application that has an SQL database (DB) to save any type of data is at risk of SQLI attacks [6]. A SQLI attack consists of insertion or injection of an SQL query via the input data from the client to the application and a successful SQLI exploit can perform CRUD operations meaning that it can read sensitive data from the DB, modify DB data by Insert, Update, Delete operations. Consequently, such attack can lead to violation of confidentiality (1) and integrity (2) principles of the CIA triad.

Alternatively, if the administrative operations are allowed to be executed remotely by DB Management System (DBMS), then adversaries can use SQLI vulnerability to execute administrative operations to shut down the DBMS which can cause violation of availability (3) principle of the CIA triad.

Because of the fact that SQLI attacks consist of injection of SQL query via the input data from the client to the application, it could be also said that SQLI attacks are a type of injection attacks [7] even though it was classified by the main phases of the software development life-cycle phases in Fig. 1.

According to statistics between the year 2000 to 2018 from the National Vulnerability Database (NVD) of National Institute of Standards and Technology (NIST) [8], there were upward trends on SQLI vulnerability from the year 2000 to 2006. The percentage of the SQLI vulnerability fell slightly from 14.60% in 2006 to 10.87% in 2007, and then rose significantly to 19.55% in 2008 which was the most popular time of SQLI vulnerability. Starting from the year 2009, the reported SQLI vulnerability percentage started decreasing until 2013 and stayed around 4% until 2015. In 2016, it fell to 1.35% and increased up to 3.52% in 2017. In the time when this statistic was obtained from NVD in 2018, there was 3.11 % of SQLI vulnerability reported among all. This may change by the end of 2018.

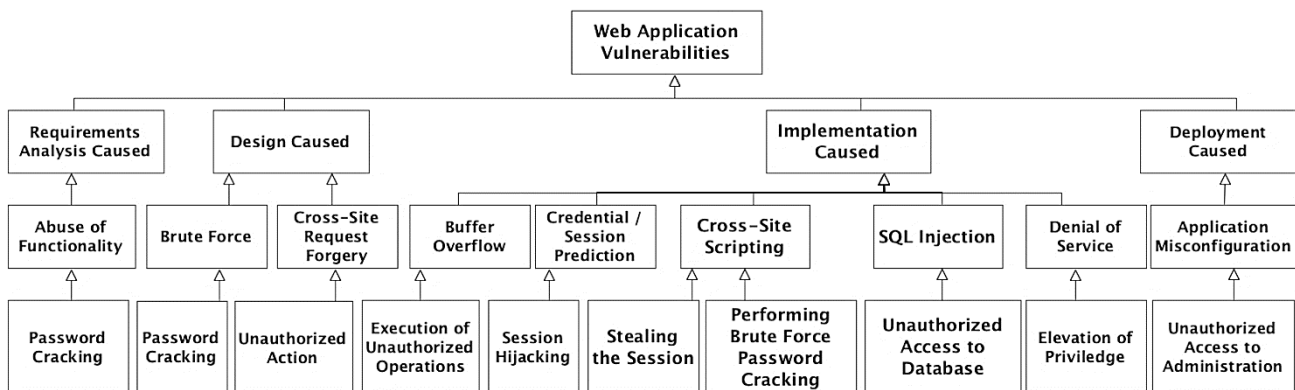


Figure 1 – Classification of web application vulnerabilities [3] «ХІІІ». Серія: Системний аналіз, управління та інформаційні технології, № 22 (1298) 2018

Even though the total amount of reported SQLI vulnerabilities are decreased after year 2008 and it is currently around 3.11% percent in 2018, this vulnerability is in existence, and it can still be dangerous to violate confidentiality (1) and integrity (2) principles of the CIA triad.

Overview of the underlying causes of SQLI vulnerability and SQLI attack execution. Above all, main reasons that causes SQLI vulnerability must be well-known to execute SQLI attacks, to detect SQLI vulnerability and to secure applications against such vulnerabilities. There are mainly two reasons as follows:

1. Direct usage of the input data from tainted source;
2. Direct usage of the input data to dynamically construct the SQL query.

The underlying issue in the SQLI vulnerability is the fact that one string combines the code and the data to construct a query. In order to illustrate this issue, a basic SQL query to select data from DB can be used. Such queries have simply three keywords, such as: select, from, where (see Fig. 2).

```
$token = "token";
$query = "SELECT * FROM users WHERE token = ".$token."";
$result = mysql_query($query);
```

Figure 2 – SQL select query sample

The above figure shows an example of SQL query to select all users from table named as 'users' where token matched. Expected query to be processed in DBMS is represented in Fig. 3.

```
$token = "token";
$query = "SELECT * FROM users WHERE token = 'token'";
$result = mysql_query($query);
```

Figure 3 – Expected SQL select query

An adversary can trick this query easily by adding extra code by providing unexpected token as shown in Fig. 4.

```
$token = "' OR '1'='1";
$query = "SELECT * FROM users WHERE token = ' OR '1'='1'";
$result = mysql_query($query);
```

Figure 4 – SQL injection with unexpected input data

Provided input value for token, which is ' OR '1'='1 in this case, perfectly fits on the query. Since there is no syntax error and '1' always equals to '1', DBMS will think query is fine to execute and return all users.

Sometimes when adversaries are not sure about how the query does look like to be sure that injection will work, they can use SQL comments to force DBMS to skip the rest of query. MySQL servers do accept two types of SQL comments:

1. Single line comment: such comments start with '#' character or '--' sequence and end at the end of line;
2. Multi-line comments: such comments start with '/*' sequence and end with '*/' sequence.

Additionally, injection with comment character or sequence of characters may not work without adding an

extra space character at the end of input data after the comment character or character sequence. Thus, it is occasionally needed to add space character at the end of the malicious SQL query that contains comment character to execute a successful SQL injection attack.

Moreover, using URL encoded version of the malicious input data is also useful to successfully perform a SQLI attack.

Once the SQLI attack is successfully executed, adversaries understand the structure of the SQL query and they perform other attacks using different queries to manipulate the DB as they wish.

Overview of the SQLI vulnerability countermeasures. As explained above, the main reason for SQLI vulnerability existence is using the tainted input data directly to construct the SQL query without sanitization and using the tainted input data to construct SQL query dynamically. Therefore, securing the application against SQLI vulnerability is about increasing the trustworthiness of the input data or separating the data and the code. Techniques [9] used to eliminate SQLI vulnerability as follows:

1. Blacklisting: The action of detecting and deleting the special characters that can break SQL query, such as; quotation mark ("), single quotation mark ('), semicolon (;), comment (/*, */, #, --), etc.;
2. Escaping: The action of replacing the problematic characters with the safe ones, such as; changing single quotation mark ('), quotation mark ("), semicolon (;) to (\'), (\"), (\;) respectively;
3. Whitelisting: The action of allowing input data to be one of pre-defined values or in a pre-defined range. Whitelisting is hard to implement, because input data may not be predicted for rich input data;
4. Prepared statements: This is a feature that DBMS provides. In order to work with prepared statements, an SQL query template must be prepared. Prepared statement object contains not just SQL statement, but also pre-compiled SQL statement. Needed data will be provided later on and placed into related part of the query in prepared statement. An example prepared statement usage is shown in Fig. 5.

```
$token = "' OR '1'='1";
$db = new mysql("localhost", "user", "password", "dbname");
$stmt = $db->prepare("SELECT * FROM users WHERE token = ?");
$stmt->bind_param("s", $token);
$result = $stmt->execute();
```

Figure 5 – Prepared statement example

When the prepared statement is executed, DBMS can just run the SQL statement without compiling it first. This will result with faster work time and help to separate the code and the data in the SQL query. Thus, the best way to secure applications against SQLI vulnerability is to use prepared statements.

Web application frameworks are applying different solutions to SQLI vulnerability to help developers to easily get over this problem, see table 1.

It is important to understand that below table does not compare frameworks' capabilities, instead it compares their solutions against SQLI vulnerability that is described in their official documentations.

Many of these frameworks provide escaping feature to get rid of SQLI vulnerability while prepared statements resolve the main problem that causes SQLI vulnerability. That is why, encouraging developers to use prepared statements is a better solution to develop secure applications against SQLI vulnerability. Table 1 shows that only three frameworks, ASP.NET, Spring and Zend use prepared statements for this purpose.

Even though these frameworks provide solutions to SQLI vulnerability, applications developed using these frameworks may have this vulnerability if developers do not use the framework properly. Therefore, organizations hire penetration testers to perform tests to find existing vulnerabilities even if they are using web application frameworks which provide solutions against vulnerabilities. Penetration testers or ethical hackers are also using SQLI attack technique, that is discussed above, to find SQLI vulnerability in web applications.

Since it takes significant amount of time to manually perform vulnerability tests to detect vulnerabilities, automating the work has to be completed by penetration testers with the help of VS is a good idea because of the fact that it will increase the speed of these tests and provide with result much faster.

In order to create such VS, several algorithms are needed. These algorithms are explained later in the paper and they are as follows:

1. Error-based SQLI detection algorithm which can detect SQLI vulnerability by searching for DBMS error messages;
2. Time-based SQLI detection algorithm which can detect SQLI vulnerability based on the server response time;
3. Breadth-First Search (BFS) algorithm which can be used to develop a web crawler that explores the targeted website to find all links and forms for future use in SQLI vulnerability testing;
4. Common Vulnerability Scoring System (CVSS) which measures the qualitative severity score of

vulnerabilities.

If VS detects a vulnerability, then it means that the application is not well secured, and immediately better solutions must be applied.

Overview of Breadth-First Search algorithm and its usage in development of a web crawler. BFS algorithm [4] is important for developing a web crawler to discover all links and forms in a website. These links and forms will be tested against SQLI vulnerability one after another until all links and forms in the entire website is tested. As a result, penetration tester will be providing URL for the home page of the website and VS will discover all links and forms in the website by the help of web crawler developed based on the BFS algorithm to perform SQLI test. Fig. 6 represents the pseudo-code of BFS algorithm.

```

unmark all vertices
choose some starting vertex x
mark x
list L = x
tree T = x
while L nonempty
choose some vertex v from front of list
visit v
for each unmarked neighbor w
mark w
add it to end of list
add edge vw to T
    
```

Figure 6 – Pseudo-code of BFS algorithm

BFS algorithm starts at the root URL which is the one for home page of the website (represented as vertex in the pseudo-code) and searches all the neighboring URLs at the same level meaning that it searches for all links and forms in the current page. If the goal is reached, then it is reported as success and the search ends. If it is not, search proceeds down to the next level, sweeping the search across the neighboring URLs at that level and so on until the goal is reached. Goal is to discover all links and forms in the entire website. In order to have better understanding on the algorithm, Fig. 7 shows an activity diagram of BFS algorithm.

BFS algorithm is more suitable for applications and situations where the desired results can be obtained in the upper levels of a deeper tree. Its performance will get affected if the results will be found in the deeper levels. Since the purpose of the web crawler is to get all links and forms in entire website, this is not going to be an issue.

Table 1 – Web application frameworks comparison for SQLI vulnerability countermeasure

Framework	Blacklisting	Escaping	Whitelisting	Prepared statement
ASP.NET[10]	–	+	–	+
CodeIgniter[11]	–	+	–	+/-
Laravel[12]	–	+	–	+/-
Node.js[13]	–	+	–	+/-
Phalcon[14]	–	+	–	+/-
Ruby on Rails[15]	–	+/-	–	–
Spring[16]	–	–	–	+
Zend[17]	–	–	–	+

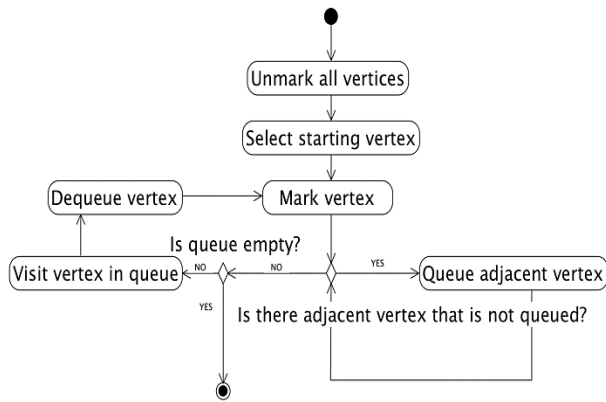


Figure 7 – Activity diagram of BFS algorithm

Developing an error-based SQLI vulnerability detection algorithm. Forms and links obtained from the web crawler which is developed based on the BFS algorithm, will be used to execute SQLI vulnerability tests to detect the vulnerability itself. Error-based SQLI detection algorithm is used in one of these tests. Fig. 8 contains activity diagram for this algorithm.

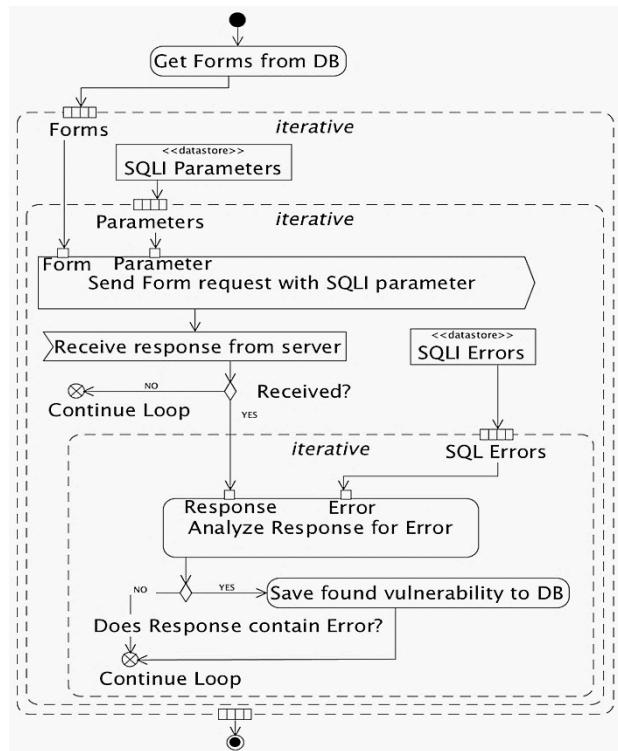


Figure 8 – Error-based SQLI detection algorithm

The main idea is to send malicious input data via found forms and links to the application. These malicious input data is explained earlier, but this time the goal is to break SQL query and force DBMS to produce an error. That is why, input data must be a character and must not complete the SQL query in a correct form. Therefore, input data can be a quotation mark (“), or single quotation mark (‘) or any character that will break the query including their URL encoded versions.

Next, the malicious input data will be processed by the application. If there is a SQLI vulnerability and injection of malicious code is successful, then the input

data will break the SQL query and DBMS will prompt a DB error message. These error messages contain followings:

1. “error in your SQL syntax”;
2. “Microsoft OLE DB Provider for ODBC Driver error”;
3. “Invalid Query String”;
4. etc.

Finally, VS must analyze the response from the application to find one of pre-defined DB error messages.

Developing a time-based SQLI vulnerability detection algorithm. Activity diagram of time-based SQLI vulnerability detection algorithm for found forms is shown in Fig. 9 for a clear vision on the algorithm. Similarly, the same algorithm must be applied for the found links.

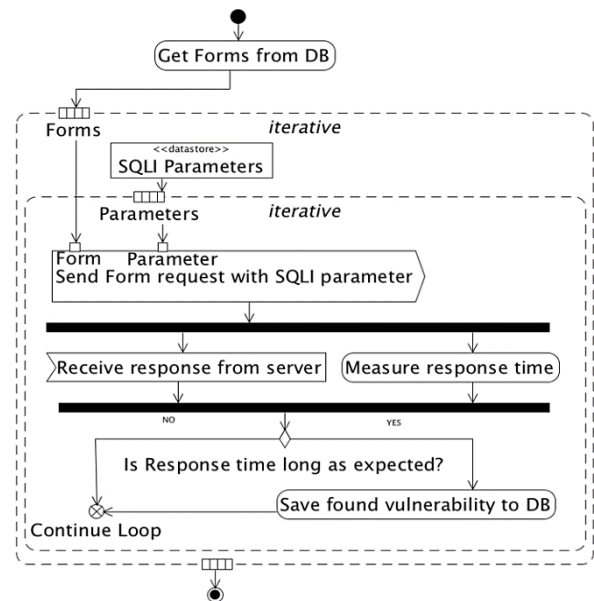


Figure 9 – Activity diagram of time-based detection algorithm

Time-based SQLI vulnerability detection technique consists of sending input data which forces DB server to wait for a certain amount of time that is defined in the malicious input data and on the other hand counting the time to get response from the server.

Several query examples which make DB server sleep for a while are as follows:

1. 1\” and sleep (10)-- ;
2. 1; wait for delay \’00:00:10\’;

These example queries make DB server wait for 10 seconds. This time is absolutely more than normal response time of any web server.

After sending the malicious input data to the application, if the response time is equal or greater than the pre-defined and expected time which is 10 seconds for the queries above, then it can be said that SQLI vulnerability has been found.

To accomplish this task, there must be two simultaneous actions running in the VS, such as; one action is sending a request to the server with malicious input data, and the another is measuring the response time of the server.

Overview of the Common Vulnerability Scoring System. The Common Vulnerability Scoring System (CVSS) provides a way to capture the principal characteristics of a vulnerability, and produce a numerical score reflecting its severity, as well as a textual representation of that score. The numerical score can then be translated into a qualitative representation (such as; low, medium, high and critical) to help organizations properly assess and prioritize their vulnerability management process.

CVSS is composed of three metric groups, such as; base, temporal and environmental.

The exploitability metrics reflect the ease and technical means by which the vulnerability can be exploited. On the other hand, the impact metrics reflect the direct consequence of a successful exploit and represent the consequence to the thing that suffers the impact, which is referred to formally as the impacted component.

The temporal metric group reflects the characteristics of a vulnerability that may change over time but not across user environments.

The environmental metric group represents the characteristics of a vulnerability that are relevant and unique to a particular user's environment.

When the base metrics are assigned values by analyst, the base equation computes a score ranging from 0.0 to 10.0. These metrics and equations are explained in CVSS v3.0 documentation [5].

Specifically, the base equation is derived from two sub equations: the exploitability sub score equation, and the impact sub score equation.

The exploitability sub score equation is derived from the base exploitability metrics, while the impact sub score equation is derived from the base impact metrics.

The base score can then be refined by scoring the temporal and environmental metrics in order to more accurately reflect the risk posed by a vulnerability to a user's environment. However, scoring the temporal and environmental metrics is not required.

The environmental metrics are specified by end-user organizations because they are best able to assess the potential impact of a vulnerability within their own computing environment.

The score calculated in CVSS can be between 0.0 and 10.0. Qualitative severity rating scale for both of numerical and textual score is shown in table 2.

Table 2 – Qualitative severity rating score

Metric value	Description
Not	0.0
Low	0.1...3.9
Medium	4.0...6.9
High	7.0...8.9
Critical	9.0...10.0

As an example, a CVSS base score of 4.0 has an associated severity rating of medium. The use of these qualitative severity ratings is optional and there is no

requirement to include them when publishing CVSS scores. They are intended to help organizations properly assess and prioritize their vulnerability management processes.

Software architecture of a vulnerability scanner.

In general, a VS is made up of four main modules, namely; a scan engine, a scan database, a report module and a user interface. To illustrate these modules, a component diagram of VS is shown in Fig. 10.

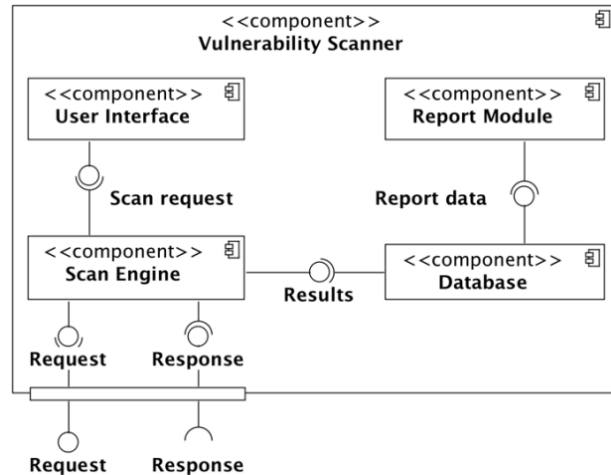


Figure 10 – Component diagram of vulnerability scanner [18]

The scan engine executes security checks according to its installed plugins, identifying system information and vulnerabilities while scan DB stores vulnerability information, scan results and other data used by scanner. Scan engine can also execute web crawler functionalities.

On the other hand, the report module provides different levels of reports on the scan results, such as; detailed technical reports, summary reports, etc.

The user interface allows the user to operate the scanner. It may be either a graphical user interface or just a command line interface.

Software implementation and SQLI vulnerability test results. Algorithms to develop a VS for measuring vulnerability severity score and SQLI vulnerability testing are explained earlier. Fig. 11 shows a sample CVSS calculation.

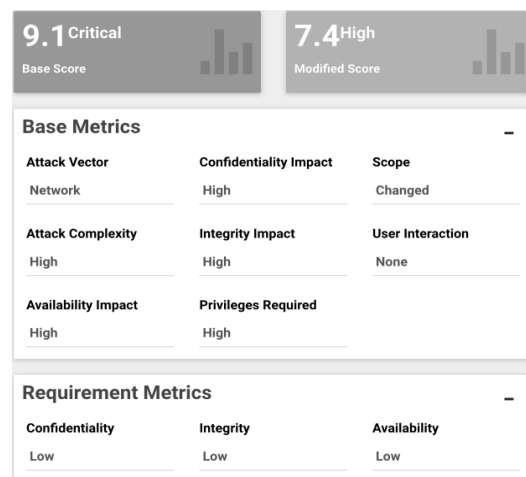


Figure 11 – An example of CVSS calculation

The prototype VS is using URL that points to the home page of the targeted website to discover forms and links to perform SQLI scans. When the URL is provided, and necessary forms and links are discovered, VS starts to perform necessary tests to find SQLI vulnerabilities in entire website.

Once the VS finishes all tests for the targeted website, it is ready to report found vulnerabilities. If there is SQLI vulnerability found in the website, then it is reported as in the Fig. 12.

Type	Url / Action	Method	Parameter	Error
Error Based SQLI	http://192.168.99.100/sqli-labs/Less-1/	GET	'	error in your SQL syntax
Time Based SQLI (Blind)	http://192.168.99.100/sqli/example9.php	GET	1 and sleep(10)--	
Time Based SQLI (Blind)	http://192.168.99.100/sqli/example4.php	GET	1 and sleep(10)--	
Time Based SQLI (Blind)	http://192.168.99.100/sqli/example5.php	GET	1 and sleep(10)--	

Figure 12 – SQLI vulnerability test result shows found vulnerabilities

This result contains information about the type of detection algorithm that is used to find the vulnerability, the related URL, used HTTP request method, the injected parameter, and an error if the vulnerability was found using error-based SQLI vulnerability detection algorithm. This information will be helpful to re-produce the error or to find the vulnerability manually.

Conclusions and Future Work. In this paper, the fundamental security model so-called CIA triad is analyzed, web application vulnerabilities are classified to have a better view on the research area and SQLI vulnerability was analyzed. SQLI effects on the CIA triad are discussed. SQLI attack execution and its countermeasures are explained. Moreover, web application frameworks' solutions to the SQLI vulnerability are compared. BFS algorithm for a web crawler is explained. Furthermore, error-based and time-based SQLI vulnerability detection algorithms are introduced and CVSS is overviewed. Proposed algorithms are used to develop a VS and test results of the VS is represented.

Overall, this VS prototype can be used by organizations to find SQLI vulnerabilities in the website faster than manual tests that have to be done by penetration testers or ethical hackers.

Our future work concerns final implementation of the proposed VS, as well as improving algorithms for SQLI vulnerability detection to make it more reliable.

References

- Madarie R. Hackers' Motivations: Testing Schwartz's Theory of Motivational Types of Values in a Sample of Hackers. *International Journal of Cyber Criminology*, 2017, vol.11, issue 1, pp. 78 – 97.
- Rhodes-Ousley M. Information Security: The Complete Reference – 2nd ed., 2013. pp. 85 – 87.
- Meshram B.B., Savita B. C. Classification of Web Application Vulnerabilities. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, March 2013, vol.2, issue 2, pp. 226 – 234.

- Zhou R., Hansen E. A. Breadth-First Heuristic Search. *Journal Artificial Intelligence*, April 2006, vol. 170, issue 4 – 5, pp. 701 – 709.
- Common Vulnerability Scoring System v3.0 Specification Document*. Available at: <https://www.first.org/cvss/specification-document> (accessed 11.05.2018).
- SQL Injection*. Available at: https://www.owasp.org/index.php/SQL_Injection (accessed 11.05.2018).
- Top 10 2017 – Injection Flaws*. Available at: https://www.owasp.org/index.php/Top_10_2007-Injection_Flaws (accessed 11.05.2018).
- Vulnerability Search Page*. Available at: <https://nvd.nist.gov/vuln/search> (accessed 11.05.2018).
- SQL Injection Prevention Cheat Sheet*. Available at: https://www.owasp.org/index.php/SQL_Injection_Prevention_Cheat_Sheet (accessed 11.05.2018).
- Security Considerations (Entity Framework)*. Available at: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/framework/data/adonet/ef/security-considerations> (accessed 11.05.2018).
- CodeIgniter User Guide*. Available at: https://www.codeigniter.com/user_guide/general/security.html (accessed 11.05.2018).
- Laravel Documentation*. Available at: <https://laravel.com/docs/5.6/eloquent> (accessed 11.05.2018).
- A Pure Node.js JavaScript Client Implementing the MySQL Protocol*. Available at: <https://github.com/mysqjs/mysql#escaping-query-values> (accessed 11.05.2018).
- Phalcon Documentation: Database Abstraction Layer*. Available at: <http://phalcon-php-framework-documentation.readthedocs.io/en/latest/reference/db.html> (accessed 11.05.2018).
- Rail Guides: Securing Rail Applications*. Available at: <http://guides.rubyonrails.org/security.html> (accessed 11.05.2018).
- Spring Framework v.5 Documents: Data Access*. Available at: <https://docs.spring.io/spring/docs/current/spring-framework-reference/data-access.html> (accessed 11.05.2018).
- Zend Framework Documentation: Zend-DB*. Available at: <https://docs.zendframework.com/zend-db/sqli/> (accessed 11.05.2018).
- An Overview of Vulnerability Scanners*. Available at: <https://www.infosec.gov.hk/english/technical/files/vulnerability.pdf> (accessed 11.05.2018)

References (transliterated)

- Madarie R. Hackers' Motivations: Testing Schwartz's Theory of Motivational Types of Values in a Sample of Hackers. *International Journal of Cyber Criminology*, 2017, vol.11, issue 1, pp. 78 – 97.
- Rhodes-Ousley M. Information Security: The Complete Reference – 2nd ed., 2013. pp. 85 – 87.
- Meshram B.B., Savita B. C. Classification of Web Application Vulnerabilities. *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, March 2013, vol.2, issue 2, pp. 226 – 234.
- Zhou R., Hansen E. A. Breadth-First Heuristic Search. *Journal Artificial Intelligence*, April 2006, vol. 170, issue 4 – 5, pp. 701 – 709.
- Common Vulnerability Scoring System v3.0 Specification Document*. Available at: <https://www.first.org/cvss/specification-document> (accessed 11.05.2018).
- SQL Injection*. Available at: https://www.owasp.org/index.php/SQL_Injection (accessed 11.05.2018).
- Top 10 2017 – Injection Flaws*. Available at: https://www.owasp.org/index.php/Top_10_2007-Injection_Flaws (accessed 11.05.2018).
- Vulnerability Search Page*. Available at: <https://nvd.nist.gov/vuln/search> (accessed 11.05.2018).
- SQL Injection Prevention Cheat Sheet*. Available at: https://www.owasp.org/index.php/SQL_Injection_Prevention_Cheat_Sheet (accessed 11.05.2018).

10. *Security Considerations (Entity Framework)*. Available at: <https://docs.microsoft.com/en-us/dotnet/framework/data/adonet/ef/security-considerations> (accessed 11.05.2018).
11. *CodeIgniter User Guide*. Available at: https://www.codeigniter.com/user_guide/general/security.html (accessed 11.05.2018).
12. *Laravel Documentation*. Available at: <https://laravel.com/docs/5.6/eloquent> (accessed 11.05.2018).
13. *A Pure Node.js JavaScript Client Implementing the MySQL Protocol*. Available at: <https://github.com/mysqljs/mysql#escaping-query-values> (accessed 11.05.2018).
14. *Phalcon Documentation: Database Abstraction Layer*. Available at: <http://phalcon-php-framework-documentation.readthedocs.io/en/latest/reference/db.html> (accessed 11.05.2018).
15. *Rail Guides: Securing Rail Applications*. Available at: <http://guides.rubyonrails.org/security.html> (accessed 11.05.2018).
16. *Spring Framework v.5 Documents: Data Access*. Available at: <https://docs.spring.io/spring/docs/current/spring-framework-reference/data-access.html> (accessed 11.05.2018).
17. *Zend Framework Documentation: Zend-DB*. Available at: <https://docs.zendframework.com/zend-db/sql/> (accessed 11.05.2018).
18. *An Overview of Vulnerability Scanners*. Available at: <https://www.infosec.gov.hk/english/technical/files/vulnerability.pdf> (accessed 11.05.2018).

Received 12.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Арслан Берк (Арслан Берк, Arslan Berk) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9493-0430>; e-mail: berk.arслан93@gmail.com

Гамзаєв Рустам Олександрович (Гамзаев Рустам Александрович, Gamzayev Rustam Olexandrovich) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2713-5664>; e-mail: rustam.gamzayev@gmail.com

Ертугрул Каракуха (Эртугрул Каракуха, Ertuğrul Karacıha) – професор, доктор, декан Інституту інформатики Стамбульського технічного університету (Istanbul Technical University), м. Стамбул, Турція; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7555-8952>; e-mail: ertugrulkaracuha@gmail.com

Ткачук Микола Вячеславович (Ткачук Николай Вячеславович, Tkachuk Mykola Vyacheslavovich) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри програмної інженерії та інформаційних технологій управління; Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна, професор кафедри моделювання систем і технологій, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0852-1081>; e-mail: tka.mobile@gmail.com

Е. П. ПАВЛЕНКО, С. В. ЛУБЕНЕЦ, В. А. АЙВАЗОВ

МОДЕЛИ И ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Рассмотрена проблема оценки качества программного обеспечения информационных систем. Проведен анализ достоинств и недостатков существующих методов оценки качества программного обеспечения информационных систем. Качество программного обеспечения рассматривается по отношению к достижению определенного перечня целей. Качество программного обеспечения выражается через функции удовлетворения потребностей пользователя и конечный эффект, возникающий вследствие повышения информированности пользователя информационной системы о процессах, происходящих на объекте управления. Первичные показатели качества характеризуют программное обеспечение с точки зрения достижения заданного уровня качества по тому или иному свойству, отражающему общую закономерность функционирования программного обеспечения информационной системы, и зависят от значений показателей нижележащих уровней. Предложена итеративная диалоговая процедура оценки качества программного обеспечения, позволяющая на основе предпочтений пользователя выбрать свойства, формирующие качество программного обеспечения, и измерить значения показателей качества. На основании анализа перечня потребительских свойств программного обеспечения, систематизации основных сравнительных характеристик и требований к информационным системам выделены основные критерии качества для программного обеспечения информационных систем: функциональный критерий; критерий надежности; информационный критерий; критерий быстродействия; критерий использования памяти. Предложены показатели, входящие в функциональный критерий качества, в частности, среднее время выдачи информации на запрос; вероятность выдачи отказа на запрос при наличии информации; вероятность возникновения необходимости подачи запроса, вид которого не предусмотрен в информационной системе. Предложены способы вычисления значений этих показателей. Сделан вывод, что предлагаемая процедура применима для сравнительной оценки качества различных программных комплексов.

Ключевые слова: программное обеспечение, информационные системы, качество, процедура, многокритериальное оценивание, функциональный критерий

Є. П. ПАВЛЕНКО, С. В. ЛУБЕНЕЦ, В. А. АЙВАЗОВ

МОДЕЛІ І ПОКАЗАНИКИ ОЦІНКИ ЯКОСТІ ПРОГРАММНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Розглянуто проблему оцінки якості програмного забезпечення інформаційних систем. Проведено аналіз переваг і недоліків існуючих методів оцінки якості програмного забезпечення інформаційних систем. Якість програмного забезпечення розглядається по відношенню до досягнення певного переліку цілей. Якість програмного забезпечення виражається через функції задоволення потреб користувача і кінцевий ефект, що виникає внаслідок підвищення інформованості користувача інформаційної системи про процеси, що відбуваються на об'єкті управління. Первинні показники якості характеризують програмне забезпечення з точки зору досягнення заданого рівня якості з того чи іншого властивості, що відбиває загальну закономірність функціонування програмного забезпечення інформаційної системи, і залежать від значень показників нижчих рівнів. Запропоновано ітеративна діалогова процедура оцінки якості програмного забезпечення, що дозволяє на основі уподобань користувача вибрати властивості, що формують якість програмного забезпечення, і виміряти значення показників якості. На підставі аналізу переліку споживчих властивостей програмного забезпечення, систематизації основних порівняльних характеристик і вимог до інформаційних систем виділені основні критерії якості для програмного забезпечення інформаційних систем: функціональний критерій; критерій надійності; інформаційний критерій; критерій швидкодії; критерій використання пам'яті. Запропоновано показники, що входять в функціональний критерій якості, зокрема, середній час видачі інформації на запит; ймовірність видачі відмови на запит при наявності інформації; ймовірність виникнення необхідності подання запиту, вид якої не передбачено в інформаційній системі. Запропоновано способи обчислення значень цих показників. Зроблено висновок, що запропонована процедура може бути застосована для порівняльної оцінки якості різних програмних комплексів.

Ключові слова: програмне забезпечення, інформаційні системи, якість, процедура, багатокритеріальне оцінювання, функціональний критерій

E. P. PAVLENKO, S. V. LUBENEC, V. A. AYVAZOV

MODELS AND INDICATORS FOR ASSESSING THE QUALITY OF INFORMATION SYSTEMS SOFTWARE

The problem of software quality assessment of information systems is considered. The analysis of advantages and disadvantages of existing methods for assessing the quality of software information systems. The quality of the software is considered in relation to the achievement of a certain list of goals. The quality of the software is expressed through the functions of satisfying the user's needs and the final effect that arises from increasing the information system user's awareness of the processes occurring at the control object. Primary quality indicators characterize the software from the point of view of achieving a given level of quality for a particular property reflecting the general pattern of functioning of the information system software and depend on the values of the indicators of the lower levels. An iterative interactive procedure for evaluating the quality of software is proposed, which makes it possible to select properties that form the quality of software based on user preferences and to measure the values of quality indicators. Based on the analysis of the list of consumer properties of software, systematization of the main comparative characteristics and requirements for information systems, the main quality criteria for the software of information systems are identified: a functional criterion; reliability criterion; information criterion; speed criterion; the criterion of memory usage. The indicators included in the functional quality criterion are suggested, in particular, the average time for issuing information on the request; the probability of issuing a refusal to request if information is available; probability of occurrence of necessity of submission of the inquiry which kind is not provided in information system. Methods for calculating the values of these indicators are proposed. It is concluded that the proposed procedure is applicable for comparative evaluation of the quality of various software systems.

Keywords: software, information systems, quality, procedure, multi-criteria evaluation, functional test.

Введение. В течение длительного промежутка времени ведутся интенсивные исследования по поиску методов и средств оценивания разнообразной продукции, в том числе и программно-алгоритмических средств. Методы измерения качества данных средств на сегодня еще не установились, находятся в

стадии поисков и апробации.

Единого подхода к построению конструктивного критерия оценки качества программного обеспечения (ПО) пока не найдено. Эту задачу сложно решить ввиду большого разнообразия структуры и функционального назначения ПО, а также наличия большого числа показателей качества программных средств, которые следовало бы учесть в формируемом критерии.

В связи с этим есть необходимость сузить класс исследуемых программных объектов, ограничиваясь программным обеспечением информационных систем (ИС), с тем, чтобы на конкретном программном продукте показать возможность синтеза обобщенного показателя качества и затем расширить класс исследуемых программных средств.

Постановка проблемы. В последние годы получены некоторые положительные результаты в области анализа качества ПО, наметился ряд сдвигов при поиске методов выбора номенклатуры показателей качества и их расчета. Однако построить единую методику оценки качества разнообразного ПО пока не представляется возможным в связи с тем, что ПО разных классов сильно различаются по назначению и другим характеристикам. Проблему построения такой методики следует решать путем разработки методик оценки качества ПО для каждого класса в отдельности и затем попытаться разработать общий подход.

В связи с этим необходимо выработать процедуру оценки качества ПО ИС, которая позволила бы выполнять анализ качества программного обеспечения по некоторой совокупности критериев, выполнять сравнение качества разных программных продуктов.

Реализация поставленной цели подразумевает решение следующих задач:

- выполнение обзора существующих методов оценки качества ПО;
- разработка итеративной процедуры оценки качества ПО ИС, которая учитывает предпочтения пользователей;
- выбор и обоснование методик расчета показателей, входящих в критерии качества ПО.

Анализ состояния проблемы. Б. Бозм, Дж. Браун в [1] отмечают, что экономическая целесообразность разработки системы показателей качества ПО имеется, если затраты на него не больше половины затрат на тестирование. Это подтверждает целесообразность разработки системы показателей качества программ для любой достаточно сложной ИС.

Какие требования выдвигаются к системе показателей?

В работе [2] указывается, что оценки должны быть надежными, внутренне согласованными, допускать возможность использования результатов измерений для предсказания какого-нибудь события, точно соответствовать абстрактному понятию измеряемого свойства. В [3] делается акцент на том, что оценка показателей качества ПО должна производиться на всех стадиях жизненного цикла ПО, на протяжении всего срока его службы.

Показатели качества ПО могут использоваться

для контроля за ходом разработки ПО, если они предоставляют достоверные данные о процессе функционирования ПО, а также для определения трудоемкости тестирования и оценки ПО. Программисты, получая в процессе разработки данные о качестве разрабатываемой программной системы, могут корректировать некоторые параметры системы в ходе разработки.

В работе [4] рассматривается построение системы критериев качества ПО методом «сверху вниз». Основное внимание уделено метрическим характеристикам качества, используются методы, основанные на элементах факторного анализа. Рассматривается способ оценки затрат труда для достижения определенного уровня качества программной системы. Однако слабо проработаны вопросы выведения обобщенной оценки качества ПО, слабо учитывается разная значимость отдельных показателей при оценке качества ПО разного типа и назначения.

Широкую известность получили метрики качества ПО Холстеда [5]. Наиболее важные метрики – длина программы, объем программы, отношения между операторами и операндами – «словарь программы», значения работы и времени программирования. Однако применение данных метрик возможно лишь при наличии исходного модуля программы, текста программы на языке высокого уровня, а это условие не всегда выполнимо.

Известны также метрики ПО Джилба [6]. В работе даны методы численной оценки значения многих метрик, проанализировано несколько десятков показателей, которые сгруппированы в соответствии со свойствами надежности, гибкости, структурированности, эффективности, трудоемкости. Однако не уделено должного внимания тому обстоятельству, что некоторые метрики имеют более важное значение для определения интегральной оценки качества ПО, а некоторые – менее важное, вследствие чего затруднена обобщенная оценка качества ПО.

В [7] предлагаются метрики кода программного обеспечения, такие как размер, сложность, поддерживаемость и другие. Однако не приведены математические модели определения значений показателей качества. В работе [8] рассмотрены метрики связности модулей, метрики сцепления модулей. Но применение данных метрик ориентируется на программные средства, разработанные по процедурной технологии.

Для объектно-ориентированных программ наиболее применимыми являются наборы метрик Мартина [9]. Вводится понятие категорий классов. Классы в категории разделяют некоторую общую функцию или достигают некоторой общей цели. Ответственность, независимость и стабильность категории могут быть измерены путем подсчета зависимостей, которые взаимодействуют с этой категорией. Однако не уделяется достаточно внимания вопросам программной надежности.

Критерий надежности ПО рассмотрен в [10]. Приводятся показатели надежности и классификация ошибок в программе. Модели надежности программ-

ных средств рассмотрены в [11]. Методам оценки надежности объектно-ориентированных программ посвящена работа [12].

Метод решения проблемы. Исследование качества ПО ИС базируется на следующих принципах системного исследования:

- использование двух уровней при описании качества: первый уровень отводится для содержательных определений и понятий, второй – для формальных;

- сочетание функционального подхода со структурным подходом, учитывающим структуру ИС;

- наличие иерархии моделей для исследования качества ПО;

- учет субъективной и объективной сторон информации. Количественные оценки качества ПО можно получить только с участием экспертов или пользователей ПО;

- использование статистических методов для анализа информационных процессов;

- качество ПО ИС необходимо рассматривать по отношению к достижению определенного перечня целей, где, в частности, достижение определенной экономической эффективности является одной из целей.

Качество ПО ИС выражается через функции удовлетворения потребностей пользователя и конечный эффект, возникающий вследствие повышения информированности пользователя ИС о процессах, происходящих на объекте управления. Вид этих зависимостей может быть аддитивным, мультипликативным или иметь другую форму:

$$P = f(U, E),$$

где P – показатель, характеризующий качество ПО;

U – показатель, характеризующий степень удовлетворения потребностей пользователя;

E – величина эффекта, образующегося вследствие повышения информированности пользователя.

Если интегральный показатель качества ПО ИС обозначить P , а обобщенные показатели качества ПО по i -му критерию качества обозначить P_i , то имеем следующую зависимость:

$$P = \langle P_1, P_2, \dots, P_n \rangle.$$

Для того, чтобы иметь возможность осуществлять сравнительную оценку качества нескольких программных комплексов, а также получить представление о месте рассматриваемого ПО ИС среди аналогичных программных продуктов, следует получить способ определения P не в виде вектора, а в виде скалярного значения, формирующегося путем учета уровня качества, достигнутого по всем рассматриваемым критериям качества ПО ИС.

Поскольку результаты функционирования ПО ИС представляют собой данные об описываемом объекте управления, то перечень свойств, формирующих качество результата функционирования, будет не совпадать с перечнем свойств, формирующих качество ПО ИС. К критериям качества результата функ-

ционирования относятся информационный критерий, критерий качества интерфейса пользователя.

Обладание вычисленным значением показателя P , равно как и значениями обобщенных показателей по критериям качества P_i еще не дает возможности судить о качестве ПО ИС. Чтобы получить такую возможность, следует осуществить процедуру оценивания качества.

Примем, что каждый показатель качества характеризуется параметром r_i , область определения которого – возможные значения соответствующего показателя качества.

Обозначим символом e_{ij} показатель эффективности, имеющий смысл вклада значения показателя r_i в значение показателя качества вышестоящего уровня i -го функционального блока, символом t_{ij} – затраты на достижение максимального уровня качества по j -му критерию на i -м функциональном блоке.

Тогда $E = \|e_{ij}\|$ – матрица показателей эффективности. Размер матрицы m на n , где n – число функциональных блоков ПО ИС, m – число показателей качества.

$D_i = \|d_{ijk}\|$ – матричные операторы совместности показателей качества. Здесь $d_{ijk} = 1$, если i -й показатель качества совместим с k -м на i -м функциональном блоке; $d_{ijk} = 0$ в противном случае; число матриц равно n .

$Z = \|z_{ij}\|$ – матрица рекомендаций, в которой $z_{ij} = 1$, если i -й показатель качества рекомендуется использовать при оценке качества i -го блока, $z_{ij} = 0$ в противном случае.

$\varphi(Z)$ – система ограничений, получаемая подстановкой в вектор r тех r_i , для которых $z_{ij} = 1$.

T_0 – допустимые затраты на достижение максимального качества.

T_1, T_2, \dots , – средства, остающиеся в распоряжении разработчика после 1, 2 и других шагов в обеспечении должного качества ПО ИС и эффективности его функционирования.

$U(Z)$ – вектор критериев качества ПО ИС.

Задача обеспечения требуемого уровня качества ПО ИС заключается в нахождении матрицы рекомендаций Z , удовлетворяющей следующим условиям.

Пусть F – множество всех $m \times n$ матриц $Z = \|z_{ij}\|$, заданное условиями:

$$z_{ij} \in \{0, 1\}, \quad (1)$$

$$z_{ij} \times z_{ik} \leq d_{ijk}, \quad i = 1, \dots, n, \quad j = 1, \dots, m, \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n t_{ij} z_{ij} \leq T_0, \quad (3)$$

$$\varphi(Z) \geq 0. \quad (4)$$

Обозначим теперь через ε вектор, состоящий из наилучших, но одновременно недостижимых значений критериев $U_h(Z)$. Предположим, что на множестве значений вектора $U(Z)$ задана некоторая метрика

d. Тогда задачу обеспечения качества можно сформулировать как задачу о нахождении матрицы Z^* :

$$Z^* = \min d(U(Z), \varepsilon), \quad Z \in F, \quad (5)$$

Задача (1)–(5) имеет большую размерность. Значения некоторых переменных могут быть определены только экспертами или в диалоге с пользователем. Некоторые переменные не могут быть заданы явно. Для решения задачи нахождения приемлемого решения необходимо привлечение пользователя для уточнения предпочтений.

Решение задачи основано на следующей итеративной диалоговой процедуре.

Шаг 1. Уточнение множества критериев.

Шаг 2. Формирование множества допустимых решений.

Шаг 3. Расчет критериев по вариантам решений.

Шаг 4. Выбор модели постановщика и пользователя.

Шаг 5. Получение и уточнение информации о предпочтениях.

Шаг 6. Построение решающего правила.

Шаг 7. Поиск решения.

Шаг 8. Полученное решение удовлетворительно? Соответствует поставленной задаче? Если да, то конец. Если нет, то переход к шагу 9.

Шаг 9. Анализ причин неудовлетворенности и установление вида необходимых корректив. Возврат к шагам 1, 2, 4 или 5.

На основании анализа перечня потребительских свойств ПО, систематизации основных сравнительных характеристик и требований к ИС можно выделить такие основные критерии качества для ПО ИС:

- функциональный критерий;
- критерий надежности;
- информационный критерий;
- критерий быстродействия; критерий использования памяти.

Функциональный критерий включает следующие показатели:

- среднее время выдачи информации на запрос;
- вероятность выдачи отказа на запрос при наличии информации;
- вероятность возникновения необходимости подачи запроса, вид которого не предусмотрен в ИС;
- показатель качества обработки ошибок;
- показатель наличия аналога ПО;
- показатель учета возможности вести автоматический сбор и анализ статистики функционирования ПО;
- показатель учета возможности автоматического контроля целостности ПО ИС.

Одним из основных исходных показателей, входящих в функциональный критерий, является среднее время выдачи информации на запрос P_{11} .

Методика оценки данного показателя основана на измерении интервала времени между окончанием запроса и ответом t_i . Накопив значения интервалов времени, получаем значение показателя по формуле

$$P_{11} = \frac{(t_1 + t_2 + \dots + t_n)}{n},$$

где n – количество запросов.

Оценка вероятности выдачи отказа на запрос при наличии информации P_{12} с трудом поддается формализации. Для определения значения этого показателя следует зафиксировать количество отказов за длительный интервал времени и выяснить, какой процент отказов возник при действительном наличии запрашиваемой информации.

Для оценки вероятности возникновения необходимости подачи запроса, вид которого не предусмотрен в ИС – показателя P_{13} – следует привлечь эксперта.

Показатель P_{14} отражает качество обработки ошибок рассматриваемой программной системой. Он равен вероятности того, что возникшая ошибка будет обработана программой и будет выведено сообщение об ошибке.

Показатель P_{15} отмечает наличие аналога ПО под этой же или иной операционной системой.

Выводы. Был выполнен обзор существующих методов оценки качества ПО ИС, критериев качества программного обеспечения, установлены их достоинства и недостатки.

Предложена итеративная диалоговая процедура решения задачи оценки качества ПО ИС, состоящая из ряда этапов:

- уточнение множества критериев качества;
- формирование множества допустимых решений;
- расчет критериев по вариантам решений.

Предложены показатели качества ПО ИС, входящие в функциональный критерий качества, а также методики вычисления их значений. Одной из областей применения рассмотренной процедуры может стать сравнительная характеристика разных программных продуктов и выбор того из них, который наилучшим образом удовлетворяет потребности пользователя.

Список литературы

1. Бозм Б, Браун Дж. *Характеристики качества программного обеспечения.* – URL: <https://www.twirpx.com/file/1041051> (дата обращения: 08.05.2018)
2. *Качество программного обеспечения.* – URL: <https://iiba.ru/software-quality> (дата обращения: 08.05.2018)
3. *Качество программного обеспечения.* – URL: <https://www.viva64.com/ru/t/0077/> (дата обращения: 08.05.2018)
4. Изосимов А. В. *Метрическая оценка качества программ.* – URL: https://books.google.com.ua/books?id=IXijAAAACAAJ&dq=ISBN:5703500052&hl=ru&source=gbs_api (дата обращения: 08.05.2018)
5. Холстед М. *Начала науки о программах.* – URL: <http://library.univ.kiev.ua/ukr/elcat/new/detail.php3>. (дата обращения: 08.05.2018)
6. *Метрики ПО.* – URL: <http://www.metric.narod.ru/page1.htm?oprd=1> (дата обращения: 08.05.2018)
7. Звездин С. *Метрики как средство управления качеством.* – URL: <https://www.osp.ru/os/2009/08/10748698>. (дата обращения: 08.05.2018)
8. *Метрики структурной сложности программ.* – URL: <https://www.coursehero.com/.../INFORM/INFORM100> (дата обращения: 08.05.2018)

9. Рыжков Е. *Программный код и его метрики*. – URL: <https://habrahabr.ru/company/intel/blog/106082> – (дата обращения: 08.05.2018)
10. Моисеев М. *Методы оценки надежности ПО*. – URL: kspt.icc.spbstu.ru/media/files/2010/course/softwarequality/lec2.pdf – (дата обращения: 08.05.2018)
11. *Надежность программного обеспечения*. – URL: moodle.dstu.edu.ru/mod/resource/view.php?id=20549 – (дата обращения: 08.05.2018)
12. Павленко Е. П., Айвазов В. А. Показатели и методика оценки надежности программного обеспечения информационных систем. *ScienceRise*. Харьков, 2017. № 5/2. С. 34–37.
6. *Метрики ПО*. [Software metrics] Available at: <http://www.metric.narod.ru/page1.htm?oprd=1> (accessed 08.05.2018).
7. Zvezdin S. *Метрики как средство управления качеством*. [Metrics as a means of quality management] Available at: <https://www.osp.ru/os/2009/08/10748698> (accessed 08.05.2018).
8. *Метрики структурной сложности программ*. [Metrics of structural complexity of programs] Available at: <https://www.coursehero.com/.../INFORM/INFORM100> (accessed 08.05.2018).
9. Ryzhkov Y. *Программный код и его метрики*. [The program code and its metrics] Available at: <https://habrahabr.ru/company/intel/blog/106082> (accessed 08.05.2018).
10. Moiseev M. *Методы оценки надежности ПО*. [Methods for evaluating software reliability] Available at: kspt.icc.spbstu.ru/media/files/2010/course/softwarequality/lec2.pdf (accessed 08.05.2018).
11. *Надежность программного обеспечения*. [Software Reliability] Available at: moodle.dstu.edu.ru/mod/resource/view.php?id=20549 (accessed 08.05.2018).
12. Pavlenko E. P., Ayvazov V. A. *Показатели и методика оценки надежности программного обеспечения информационных систем* [Indicators and methodology for assessing the reliability of information systems software]. *ScienceRise* [ScienceRise]. Kharkov, 2017, no. 5/2, pp. 34–37.

References (transliterated)

1. Boehm B., Brown J. *Kharakteristiki kachestva programmnogo obespecheniya*. [Software Quality Characteristics] Available at: <https://www.twirpx.com/file/1041051> (accessed 08.05.2018).
2. *Kachestvo programmnogo obespecheniya*. [Quality of software] Available at: <https://iiba.ru/software-quality> (accessed 08.05.2018).
3. *Kachestvo programmnogo obespecheniya*. [Quality of software] Available at: <https://www.viva64.com/ru/t/0077> (accessed 08.05.2018).
4. Izosimov A. V. *Metricheskaya otsenka kachestva programm*. [Metric evaluation of program quality] Available at: https://books.google.com.ua/books?id=IXijAAAACA AJ&dq=ISBN:5703500052&hl=ru&source=gbs_api (accessed 08.05.2018)
5. Holsted M. *Nachala nauki o programmakh*. [The beginning of the science of programs] Available at: library.univ.kiev.ua/ukr/elcat/new/detail.php3 (accessed 08.05.2018)

Поступила (received) 14.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Павленко Євген Петрович (Павленко Евгений Петрович, Pavlenko Yevhen Petrovych) – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри інформаційних управляючих систем; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7626-9933>; e-mail: evgenijpavlenko821@gmail.com

Лубенець Сергій Васильович (Лубенец Сергей Васильевич, Lubenec Sergej Vasil'evich) – кандидат технічних наук, доцент, Харківська державна академія культури, доцент кафедри журналістики; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1061-8763>; e-mail: S.Lubenec@ukr.net

Айвазов Віталій Артемович (Айвазов Виталий Артемович, Ayvazov Vitalij Artemovich) – Харківський національний університет радіоелектроніки, старший викладач кафедри охорони праці; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/000-0002-4265-1675>; e-mail: vitaliy.ayvazov@nure.ua

В. О. ЛЕЩИНСЬКИЙ, І. О. ЛЕЩИНСЬКА

ВИКОРИСТАННЯ ПРИНЦИПІВ ЛОКАЛЬНОСТІ ТА ЗВ'ЯЗНОСТІ КОНТЕКСТУ В РЕКОМЕНДАЦІЙНИХ СИСТЕМАХ

Досліджено проблему релевантності вхідних даних в рекомендаційних системах. Дана проблема виникає внаслідок недостатньої диференціації даних про товари відносно споживачів, що не дозволяє в повній мірі індивідуалізувати їх вподобання в рекомендаційній системі. Для вирішення цієї проблеми пропонується враховувати локальні контексти споживачів, що відповідають умовам їх вибору. Використання контексту дає можливість задати контекстні обмеження на можливі варіанти упорядкованого переліку рекомендацій і тим самим підвищити якість роботи рекомендаційної системи. З метою забезпечити контекстно-орієнтовані рекомендації пропонується послідовно узагальнити та відфільтрувати локальні контексти споживачів з використанням принципів локальності і зв'язності. Особливістю використання цих принципів полягає у тому, що поєднуються статичний та динамічний аспекти контексту. Перший аспект характеризується множиною властивостей об'єктів, які цікавлять споживача. Другий аспект задається у вигляді патернів подій, що відображують поведінку споживача відносно цих об'єктів. Запропонований зв'язок між аспектами полягає в тому, що кожна подія відповідає парі послідовних множин властивостей об'єктів, які відрізняються одним значенням властивості. Запропоновано двохфазовий підхід до формування контексту прийняття рішень для рекомендаційної системи, що передбачає послідовну інтеграцію статичної та динамічної складових контексту. При інтеграції використовуються відношення еквівалентності, схожості та сумісності. При реалізації першої фази формується item-based, а другої – user-based опис контексту. Потім ці описи поєднуються та фільтруються у відповідності до властивостей нового споживача, якому видаються рекомендації. Практичне значення запропонованого підходу полягає в тому, що він дозволяє видалити не релевантні вхідні дані з урахуванням контексту прийняття рішень споживачем і на цій основі підвищити точність рекомендацій.

Ключові слова: рекомендаційні системи, ранжування результатів; контекст прийняття рішень, рекомендаційні системи, локальність, зв'язність.

В. А. ЛЕЩИНСКИЙ, И. А. ЛЕЩИНСКАЯ

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ ЛОКАЛЬНОСТИ И СВЯЗНОСТИ КОНТЕКСТА В РЕКОМЕНДАТЕЛЬНЫХ СИСТЕМАХ

Исследована проблема релевантности входных данных в рекомендательных системах. Данная проблема возникает вследствие недостаточной дифференциации данных о товарах относительно потребителей, что не позволяет в полной мере индивидуализировать их предпочтения в рекомендательной системе. Для решения этой проблемы предлагается учитывать локальные контексты потребителей, отражающие условия принятия выбора этими потребителями. Использование контекста позволяет задать контекстные ограничения на возможные варианты упорядоченного перечня рекомендации и тем самым повысить качество работы рекомендательной системы. С целью обеспечить контекстно-ориентированные рекомендации предлагается последовательно обобщить и отфильтровать локальные контексты потребителей с использованием принципов локальности и связности. Особенность использования этих принципов заключается в том, что сочетаются статический и динамический аспекты контекста. Первый аспект характеризуется множеством свойств объектов, которые интересуют потребителя. Второй аспект задается в виде паттернов событий, отражающих поведение потребителя относительно этих объектов. Предложенная связь между аспектами заключается в том, что каждое событие соответствует паре последовательных множеств свойств объектов, которые отличаются одним значением свойства. Предложен двухфазный подход к формированию контекста принятия решений для рекомендательной системы, предусматривающий последовательную интеграцию статической и динамической составляющих контекста. При интеграции используются отношения эквивалентности, сходства и совместности. При реализации первой фазы формируется item-based, а второй – user-based описание контекста. Затем эти описания сочетаются и фильтруются в соответствии с характеристиками нового потребителя, которому выдаются рекомендации. Практическое значение предложенного подхода заключается в том, что он позволяет удалить нерелевантные входные данные с учетом контекста принятия решений потребителем и, на этой основе, повысить точность рекомендаций.

Ключевые слова: рекомендательные системы, ранжирование результатов; контекст принятия решений, рекомендательные системы, локальность, связность.

V. LESHCHYNSKYI, I. LESHCHYNSKA

USING PRINCIPLES OF LOCALITY AND CONNECTIVITY OF THE CONTEXT IN RECOMMENDER SYSTEMS

The problem of the relevance of input data in advisory systems is investigated. This problem arises due to insufficient differentiation of data on goods relative to consumers, which does not allow to fully individualize their preferences in the advisory system. To solve this problem, it is suggested to take into account the local contexts of consumers, reflecting the conditions for the acceptance of the choice by these consumers. Using the context allows you to set contextual constraints on possible variants of an ordered list of recommendations and thereby improve the quality of the recommendation system. In order to provide context-oriented recommendations, it is proposed to consistently generalize and filter out the local contexts of consumers using the principles of locality and connectivity. The peculiarity of using these principles is that the static and dynamic aspects of the context are combined. The first aspect is characterized by a set of properties of objects that are of interest to the consumer. The second aspect is given in the form of patterns of events reflecting the consumer's behavior with respect to these objects. The proposed relationship between the aspects is that each event corresponds to a pair of successive sets of object properties that differ in one property value. A two-phase approach to the formation of a decision-making context for a recommendation system is proposed, which provides for the consistent integration of the static and dynamic components of the context. Integration uses an equivalence, similarity and compatibility relationship. When the first phase is implemented, item-based is formed, and the second is a user-based context description. Then these descriptions are combined and filtered in accordance with the characteristics of the new consumer to whom the recommendations are issued. The practical significance of the proposed approach is that it allows you to delete irrelevant input data taking into account the context of the decision-making by the consumer and, on this basis, improve the accuracy of the recommendations.

Keywords: recommender systems, ranking of results; decision making context, reference systems, locality, connectivity

Вступ. Рекомендаційні системи – це системи, що використовуються для підтримки рішень споживача шляхом формування рекомендацій відносно їх можливих вподобань в рамках існуючих обмежень предметної області. Рекомендації містять впорядковану множину об'єктів, що можуть бути цікавими для споживача. В якості цікавих для користувача об'єктів в таких системах зазвичай розглядають новини, музику, фільми, промислові товари, тощо [1–3].

Головна концепція, яка лежить в основі створення рекомендаційних систем, полягає в тому, що на практиці користувачі при прийнятті повсякденних, типових рішень використовують рекомендації інших користувачів, що вже здійснили вибір в цій же предметній області [1].

Рекомендаційні системи знайшли широке практичне застосування у сфері здійснення онлайн-покупок в системах електронної комерції. Вони надають підтримку користувачам, які не мають достатньо досвіду та знань для виконання вибору в разі наявності значної кількості альтернативних варіантів [4,5]. Наприклад, веб-сайт Amazon.com використовує рекомендаційні системи для персоналізації свого магазину шляхом створення адаптованого для кожного користувача упорядкованого переліку товарів [6].

При побудові упорядкованого списку рекомендаційна система намагається визначити найбільш придатні для користувача товари та сервіси з урахуванням його вподобань та обмежень. Для знаходження вподобань користувача рекомендаційна система обробляє дані про його покупки, перегляди, про виставлені ним рейтинги товарів, а також аналогічні дані подібних користувачів. В якості таких даних може, наприклад, бути використана інформація про навігацію на сторінці сайту. Дана інформація допомагає виявити, які товари зацікавили користувача на вибраній ним сторінці.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Одним із базових підходів до побудови рекомендацій є колаборативна фільтрація (collaborative filtering) [3, 6]. Методи колаборативної фільтрації передбачають відбір товарів по схожості користувачів або користувачів по схожості об'єктів, які є для них цікавими [1]. Однією з ключових проблем, що виникає при використанні колаборативної фільтрації, є проблема релевантних даних [1, 7, 8].

Дана проблема пов'язана з недостатньою диференціацією даних про товари відносно споживачів, що не дозволяє в повній мірі індивідуалізувати їх вподобання в рекомендаційній системі.

Проблема релевантності даних для формування оцінок є характерною для нових рекомендаційних систем і в цьому випадку має назву проблеми «холодного старту». Тобто на початку свого функціонування рекомендаційна система не містить достатню кількість оцінок користувачів щодо нових об'єктів для того, щоб формувати релевантні рекомендації [9, 10].

Для вирішення наведеної проблеми при побудові рекомендацій доцільно використовувати контекстну

інформацію [8, 11, 12]. Використання додаткової інформації про контекст дозволяє відфільтрувати нерелевантну інформацію та не враховувати її при реалізації колаборативної фільтрації.

Однак існуючі підходи до використання контексту в рекомендаційних системах базуються в першу чергу на порівнянні ситуацій (наприклад, реальної і уявної) як сукупності об'єктів без урахування динамічного аспекту у вигляді сукупності подій, що супроводжують ці ситуації [13, 14].

В той же час контекст рекомендаційної системи може бути сформований шляхом встановлення зв'язків між локальними контекстами споживачів на основі спільних для них елементів, що і визначає актуальність теми даної статті.

Метою даної статті є розробка підходу до формування контексту прийняття рішень для рекомендаційної системи на основі принципів локальності та зв'язності з тим, щоб персоналізувати рекомендації споживачам та підвищити ефективність роботи таких систем.

Для досягнення мети вирішуються такі задачі:

- структуризація знань про контекст прийняття рішень користувачів при виборі товарів або послуг;
- уточнення циклу взаємодії споживачів на основі використання контексту прийняття рішень;
- розробка підходу до формування контексту в рекомендаційній системі з урахуванням принципів локальності та зв'язності контекстів окремих споживачів.

Структуризація контексту прийняття рішень в рекомендаційних системах. Рекомендаційні системи забезпечують підтримку вибору споживачем одного із значної множини альтернативних об'єктів.

При виборі споживач враховує як свої персональні вподобання, поточний стан предметної області. Останній, зокрема, характеризується часовим та просторовим аспектами та відображає вподобання інших користувачів, наявність інформації об'єкти, про вподобання, тощо.

Проведений аналіз структури контексту [7, 8, 11, 12] показав, що він характеризується статичною та динамічною складовими (рис.1).

Перша складова характеризує перелік об'єктів, з якими взаємодіє споживач при виконанні вибору. Друга складова характеризує поведінку цих об'єктів.

Інформація про поведінку об'єктів фіксується у вигляді подій, наприклад: поява тізера нового фільму; поява детальної інформації про фільм на сайтах в мережі Інтернет; початок показу фільму в кінотеатрах країни, тощо. Послідовність подій відображає життєвий цикл відповідного продукту. Кожна нова подія змінює властивості фільму з точки зору користувача. Наприклад, цікавий тізер, позитивні рецензії на сайтах огляду фільмів та інформація про ключових акторів підвищують важливість перегляду цього фільму для користувача; інформація із реклами лікарського засобу, що доповнена інформацією про його склад, змінює властивості цього засобу для користувача.



Рис. 1. Структуризація знань про контекст прийняття рішень користувачами рекомендаційної системи

Відповідно, для інтеграції обох складових динамічні характеристики контексту доцільно представляти у вигляді набору подій, що змінюють значення властивостей об'єктів, з якими взаємодіє споживач.

Знання про ці складові можуть мати такі форми: явна, неявна, за замовчуванням.

Знання в явній формі повністю задають контекст прийняття вибору або його складові. Знання в неявній формі мають неформальне й невербальне представлення і тому не можуть бути безпосередньо використані для фільтрації рекомендацій.

Знання за замовчуванням відносяться до загальних знань про предметну область. Тобто вони формують контекст, вони є формалізованими, але безпосередньо не представлені в рамках опису умов вибору об'єктів споживачем.

На основі проведеної структуризації сформулюємо визначення контексту прийняття рішень в рекомендаційних системах.

Визначення. Контекстом прийняття рішень в рекомендаційних системах є підмножина фізичних та віртуальних об'єктів предметної області, з якими взаємодіє споживач при реалізації свого, можливо множинного, вибору, та кожен із яких характеризується множиною значень своїх властивостей і множиною подій, що виникають з ними.

Запропоноване визначення контексту відрізняється від традиційних [7, 8] тим, що поєднує характеристики контексту як з точки зору користувача, так і з точки зору використання в рекомендаційній системі.

З точки зору користувача контекст є моделлю взаємодії об'єктів, якими він користується в рамках свого вибору та ситуації, в яких він взаємодіє з цими об'єктами. Тобто в даному випадку головна увага приділяється динамічному аспекту контексту. Послідовність взаємодії споживача і контексту відображається у вигляді послідовності відповідних подій.

З точки зору формування рекомендацій контекст є простором станів об'єктів, з якими взаємодіє користувач. Простір станів об'єктів задається через значення їх властивостей. В даному випадку головна увага приділяється статичному аспекту контексту. Відповідно, зміну значень підмножини властивостей об'єкта у часі доцільно розглядати як реалізацію зв'язків між об'єктами в локальному контексті.

Таким чином, контекст неявно обмежує простір можливих рішень людини [8] та простір вибору і упорядкування рішень в рекомендаційних системах.

У відповідності до наведеного визначення контексту, постановка задачі побудови рекомендацій з використанням контекстної колаборативної фільтрації полягає в тому, що потрібно сформулювати функцію рейтингу у вигляді:

$$R: U \times E \times C_s \times C_d \rightarrow Rating, \quad (1)$$

де U – множина споживачів;

E – множина об'єктів, відносно яких роблять вибір споживачі;

C_s – статична складова контексту;

C_d – динамічна складова контексту;

Відмінність даної постановки задачі від існуючих полягає в тому, що контекст розглядається як з точки зору користувача (динамічна складова), так і з точки зору формування рекомендацій (статична складова). Це дає можливість пов'язати події, що впливають на вибір споживача, із зміною властивостей об'єктів, оскільки достовірна інформація про події в більшості випадків відсутня в рекомендаційній системі.

Для того, що зв'язати статичну та динамічну складові при відсутності достовірної інформації щодо останньої пропонується розгорнути вподобання споживача в темпоральному аспекті, тобто зв'язати послідовність подій із властивостями об'єктів, що цікавлять споживача.

Наприклад, вранці споживач вибирає каву відповідної торгової марки, вдень – книгу відомого автора, на вихідних – товари для догляду за садом, тощо. Сукупність цих подій формує розгорнутий у часі шаблон поведінки користувача.

Для формування патерну поведінки користувача пропонується використовувати принципи локальності та зв'язності.

Інтеграція статичної та динамічної складової контексту на основі принципів локальності та зв'язності. Запропоновані принципи локальності та зв'язності контекстів прийняття рішень споживачів відображають неповноту інформації про контекст у споживача та забезпечують можливість реалізувати практичну потребу інтегрувати цю інформацію для автоматизованого формування рекомендацій.

Відповідно до першого принципу, кожен споживач оперує лише з підмножиною об'єктів предметної області. Більш того, кожен з об'єктів для споживача характеризується лише підмножиною доступних йому властивостей.

Відповідно до принципу зв'язності при побудові контексту прийняття рішень для рекомендаційної системи необхідно враховувати відношення еквівалентності, схожості та сумісності:

$$\forall e_{ij} \in c_k^l \exists e_{ij}^{**} \in c_k^m, \\ c_k^l \in C^l, c_k^m \in C^M, \\ E_q: e_{ij}^* = e_{ij}^{**} \Rightarrow c_k^l \equiv c_k^m, \quad (2)$$

$$N_g: e_{ij}^* \subseteq e_{ij}^{**} \Rightarrow c_k^l \subseteq c_k^m, c_k^m | e_{ij}^{**} \in c_k^l, c_k^m,$$

$$C_p: e_{ij}^* \neq e_{ij}^{**} \Rightarrow c_k^l \setminus e_{ij}^* \equiv c_k^m \setminus e_{ij}^{**},$$

де c_k^m, c_k^l – реалізація локального контексту для споживачів l та m ;

$e_{ij}^* \in c_k^l \exists e_{ij}^{**}$ – одного й того ж об'єкту e_{ij} в контексті споживачів l та m ;

C^l, C^M – локальні контексти споживачів;

E_q – відношення еквівалентності;

N_g – відношення схожості;

C_p – відношення сумісності.

Відношення еквівалентності визначає, що при об'єднанні локальних контекстів споживачів з однаковими властивостями об'єктів використовуються звичайні правила теорії множин.

Відношення схожості задає послідовність об'єднання локальних контекстів у випадку різної деталізації властивостей. Відношення сумісності визначає правило об'єднання контекстів у випадку протиріч у представленні властивостей.

У відповідності до наведених принципів пропонується розглядати контекстно-орієнтовану підготовку рекомендацій як коопераційну процедуру, показано на рис.1.

В рамках цієї процедури проблема побудови рекомендацій вирішується шляхом циклічної взаємодії користувача з рекомендаційною системою з урахуванням контекстних знань та поточного стану контексту. Користувач враховує контекст при прийнятті рішень щодо формування рейтингів об'єктів.

Ці рейтинги використовуються рекомендаційною системою для побудови рейтингу нових об'єктів, які можуть бути цінними для користувача. По мірі включення даних про нових користувачів проводиться уточнення контексту прийняття рішень цими користувачами, що дає можливість підвищити релевантність рекомендацій у таких випадках:

- «холодний старт» рекомендаційної системи;
- циклічні зміни вподобань користувачів;
- подієві зміни інтересів користувачів.

Так, при вирішенні проблеми «холодного старту» [9, 10] спочатку формується рейтинг об'єктів без урахування контексту

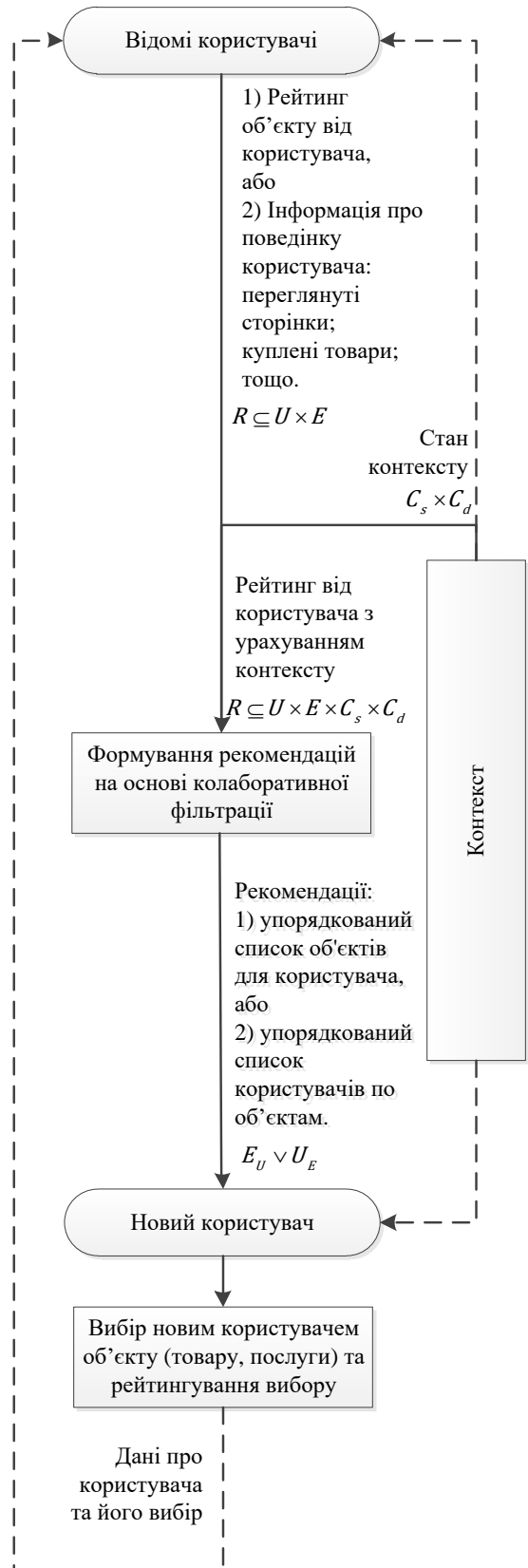


Рис. 2. Цикл уточнення рейтингу з урахуванням поточного стану контексту

В подальшому при кожному новому циклі виставлення рейтингів користувачем та побудови рекомендацій ітеративно додається контекст.

Циклічні зміни вподобань користувачів відображують одну із складових контексту прийняття рішень, наприклад сезонні зміни інтересів клієнтів.

При формуванні рекомендацій в даному випадку формується підмножина об'єктів та подій контексту, які безпосередньо пов'язані із циклом зміни інтересів споживачів. Події зміни в більшості випадків розглядаються як зміни «ad hoc», тобто разові зміни, які є результатом важливих для клієнта подій.

Такі події доцільно класифікувати наступним чином.

По-перше, це глобальні події, що характеризують довготривалі тенденції вподобань користувачів.

Наприклад, в зв'язку з різкою зміною матеріального стану користувачів в результаті економічної кризи 2008 року змінилися їх пріоритети з урахуванням цінового критерію. Проведений закордонними виробниками аналіз пріоритетів при виборі засобів косметики для покупців у нашій країні показав, що ключовими факторами при виборі косметичних засобів є їх склад, діючі компоненти та ціна.

По-друге, локальні події для соціальних груп користувачів, які призводять до зміни сфери їх інтересів. Наприклад, зміна роботи, навчального закладу, місця проживання, тощо.

По-третє індивідуальні події окремих користувачів, які не можуть бути генералізовані для груп клієнтів.

В цілому слід зазначити, що циклічні зміни можуть бути зведені до подієвих шляхом формування множини упорядкованих послідовностей подій π_s виду:

$$\{(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_s, \dots, \pi_s)\}; \forall \pi_s \exists R: e_{ij} \rightarrow \pi_s, \quad (3)$$

де R – відображення, що ставить у відповідність кожній події об'єкт, з яким ця подія виникла.

В свою чергу, уточнення вподобань користувачів в ситуації холодного старту виконується циклічно, як показано на рис. 1. Тому для підвищення релевантності рекомендацій в даній ситуації доцільно також моделювати підтримку вибору користувачів у вигляді послідовності подій, аналогічно (3).

Таким чином, деталізація першого принципу призводить нас до необхідності врахувати підмножину статичних та динамічних характеристик предметної області, що впливає на вибір клієнта.

Деталізація другого принципу передбачає поєднання послідовностей подій (3) для різних об'єктів e_{ij} у відповідності до відношень еквівалентності, схожості та сумісності (2).

Підхід до формування контексту прийняття рішень для рекомендаційної системи на основі принципів локальності та зв'язності містить у собі фази об'єднання статичної та динамічної складової контексту.

Фаза інтеграції статичної складової контексту виконується відповідно до виразу (2). Поєднуються атрибути об'єктів, які визначають їх важливі для споживача властивості.

Фаза інтеграції динамічної складової контексту містить у собі такі етапи.

Етап 1. Формування змін вподобань користувачів у вигляді послідовностей подій. На даному етапі виконується аналіз послідовностей упорядкованих у часі множин трійок «об'єкт-властивість-значення властивості». Кожна така множина характеризує суттєві властивості об'єкту у зафіксований момент часу.

Подією π_s будемо називати зміну значення властивості за умови безпосереднього слідування зазначених трійок.

Етап 2. Виявлення патернів подій методами інтелектуального аналізу даних. На цьому етапі виявляється циклічність подій у вигляді відповідних частотних патернів та формуються послідовності $(\pi_1, \pi_2, \dots, \pi_s, \dots, \pi_s)$.

Результатами наведених двох етапів є множина патернів подій, пов'язаних із об'єктами цікавості споживача. Тобто реалізується item-based опис контексту. Для видачі рекомендацій конкретним споживачам необхідно також реалізувати user-based підхід.

Етап 3. Виділення патернів поведінки по споживачам. На даному етапі фільтруються результати етапу 2 по конкретним споживачам.

Етап 4. Поєднання патернів поведінки по групам споживачів за заданими признаками груп. На даному етапі поєднуються патерни поведінки схожих споживачів з тим, щоб отримати множину упорядкованих послідовностей подій (3), що враховує контекст вибору споживача.

Етап 5. Доповнення шаблону подій (3) атрибутами об'єктів, отриманих в результаті першої фази. На даному етапі виконується поєднання статичної та динамічної складової контексту з використанням відображення R .

Висновки. Розглянуто проблему релевантності вхідних даних в рекомендаційних системах. Виникнення даної проблеми пов'язано з недоліками вхідних даних в задачах колаборативної фільтрації: значною розрідженістю матриць оцінок /покупок.

Для вирішення цієї проблеми пропонується враховувати локальні контексти споживачів, що відповідають їх вибору в матриці вхідних даних колаборативної фільтрації. Використання контексту дає можливість задати обмеження на можливі варіанти рекомендації.

Для підвищення якості роботи в рекомендаційній системі необхідно узагальнити локальні контексти споживачів з урахуванням неповноти і протиріччя в даних. Таке узагальнення виконується з урахуванням принципів локальності і зв'язності.

У відповідності до цих принципів, необхідно поєднати статичний та динамічний аспекти контексту. Перший представлений у вигляді властивостей об'єктів, які цікавлять споживача. Другий – у вигляді патернів подій, що відображують поведінку споживача відносно цих об'єктів. Кожна подія відображає зміну однієї властивості об'єкту.

Запропоновано підхід до формування контексту прийняття рішень для рекомендаційної системи, що реалізує вказані принципи. Підхід містить у собі послідовні фази інтеграції статичної та динамічної складових контексту, які використовують відношення еквівалентності, схожості та сумісності. При реалізації цих фаз формуються item-based та user-based опис контексту, після чого ці описи поєднуються.

Практичне значення запропонованого підходу полягає в тому, що він забезпечує підвищення точності рекомендацій за рахунок видалення нерелевантних вхідних даних з урахуванням контексту прийняття рішень споживачем.

Список літератури

- Aggarwal C. C. *Recommender Systems: The Textbook*. New York: Springer, 2017. 498 p.
- Abowd G., Atkeson C., Hong J., Long S., Kooper R., Pinkerton M. Cyberguide: A mobile context-aware tour guide. *Wireless Networks*. 1997. 3(5). P. 421–433.
- Herlocker J. L., Konstan J. A., Terveen L. G., Riedl J. T. Evaluating collaborative filtering recommender systems. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*. 2004. Vol. 22, №1. P. 5–53.
- Abowd G., Dey A., Brown P., Davies N., Smith M., Steggle P. Towards a better understanding of context and context-awareness. *Handheld and Ubiquitous Computing*. 1999. P. 304–307.
- Adomavicius G., Sankaranarayanan R., Sen S., Tuzhilin A. Incorporating contextual information in recommender systems using a multidimensional approach. *ACM Transactions on Information Systems*. 2005. 23(1). P. 103–145.
- Linden G., Smith B., York J. Amazon.com recommendations: Item-to-item collaborative filtering. *Internet Computing, IEEE*. 2003. Vol. 7, № 1. P. 76–80.
- Adomavicius G., Tuzhilin A. *Context-aware recommender systems*. Recommender Systems handbook. Springer, NY, 2011. P. 217–253.
- Adomavicius G., Tuzhilin A. Incorporating context into recommender systems using multidimensional rating estimation methods. *International Workshop on Web Personalization, Recommender Systems and Intelligent User Interfaces (WRSIU)*. 2005. P. 3–13.
- Shaw Gavin, Xu Yue. *Using Association Rules to Solve the Cold-Start Problem in Recommender Systems*. QUT Digital Repository. URL: <http://eprints.qut.edu.au/40176>. (дата звернення: 24.05.2018).
- Sobhanam Hridya, Mariappan A. K. Addressing cold start problem in recommender systems using association rules and clustering technique. *International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI- 2013)*. Coimbatore, India, 2013. P. 402–411.
- Adomavicius G., Tuzhilin A. Towards the Next Generation of Recommender Systems. *A Survey of the State-of-the-Art and Possible Extensions*. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering. 2005. №. 17. P. 634–749.
- Baltrunas L. Ludwig B. Peer S., Ricci F. Context-Aware Places of Interest Recommendations for Mobile Users. *Proceedings of the 14th International Conference on Human-Computer Interaction*. Berlin, Springer, 2011, pp. 531–540.
- Agarwal D., Chen B. C., Long B. Localized factor models for multi-context recommendation. *ACM KDD Conference*. 2011. P. 609–617.
- Chalaya O.V. Pryntsyp ta metod evoliutsiinoi pobudovy bazy znan' na osnovi analizu logiv IS protsesnogo upravlinnia [Development of knowledge base after results of analysis of the logs of the process management information system]. *Naukovo-tekhnichnyi zhurnal «Bionika intelektu»* [Scientific and Technical Journal "Bionics of Intellect"]. Kharkiv, NURE, 2017, no. 1(88), pp. 80–84.

References (transliterated)

- Aggarwal C. C. *Recommender Systems: The Textbook*. Springer, New York, 2017. 498 p.
- Abowd G., Atkeson C., Hong J., Long S., Kooper R., Pinkerton M. Cyberguide: A mobile context-aware tour guide. *Wireless Networks*. 1997, no. 3(5), pp. 421–433.
- Herlocker J.L., Konstan J.A., Terveen L.G., Riedl J.T. Evaluating collaborative filtering recommender systems. *ACM Transactions on Information Systems (TOIS)*. 2004, vol. 22, no. 1, pp. 5–53.
- Abowd G., Dey A., Brown P., Davies N., Smith M., Steggle P. Towards a better understanding of context and context-awareness. *Handheld and Ubiquitous Computing*. 1999, pp. 304–307.
- Adomavicius G., Sankaranarayanan R., Sen S., Tuzhilin A. Incorporating contextual information in recommender systems using a multidimensional approach. *ACM Transactions on Information Systems*. 2005, no. 23(1), pp. 103–145.
- Linden G., Smith B., York J. Amazon.com recommendations: Item-to-item collaborative filtering. *Internet Computing, IEEE*. 2003, vol. 7, no.1, pp. 76–80.
- Adomavicius G., Tuzhilin A. *Context-aware recommender systems*. Recommender Systems handbook. Springer, NY, 2011, pp. 217–253.
- Adomavicius G., Tuzhilin A. Incorporating context into recommender systems using multidimensional rating estimation methods. *International Workshop on Web Personalization, Recommender Systems and Intelligent User Interfaces (WRSIU)*. 2005, pp. 3–13.
- Shaw Gavin, Xu Yue. *Using Association Rules to Solve the Cold-Start Problem in Recommender Systems*. [QUT Digital Repository]. Available at: <http://eprints.qut.edu.au/40176> (accessed 24.05.2018).
- Sobhanam Hridya, Mariappan A.K. Addressing cold start problem in recommender systems using association rules and clustering technique. *International Conference on Computer Communication and Informatics (ICCCI- 2013)*. Coimbatore, India, 2013, pp. 402–411.
- Adomavicius G., Tuzhilin A. Towards the Next Generation of Recommender Systems. *A Survey of the State-of-the-Art and Possible Extensions*. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2005, no. 17, pp. 634–749.
- Baltrunas L. Ludwig B. Peer S., Ricci F. Context-Aware Places of Interest Recommendations for Mobile Users. *Proceedings of the 14th International Conference on Human-Computer Interaction*. Berlin, Springer, 2011, pp. 531–540.
- Agarwal D., Chen B. C., Long B. Localized factor models for multi-context recommendation. *ACM KDD Conference*. 2011, pp. 609–617.
- Chalaya O.V. Pryntsyp ta metod evoliutsiinoi pobudovy bazy znan' na osnovi analizu logiv IS protsesnogo upravlinnia [Development of knowledge base after results of analysis of the logs of the process management information system]. *Naukovo-tekhnichnyi zhurnal «Bionika intelektu»* [Scientific and Technical Journal "Bionics of Intellect"]. Kharkiv, NURE Publ., 2017, no. 1(88), pp. 80–84.

Надійшло (received) 31.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Лещинський Володимир Олександрович (Лещинский Владимир Александрович, Leshchynskiy Volodymyr Oleksandrovich) – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри програмної інженерії, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8690-5702>; e-mail: volodymyr.leshchynskiy@nure.ua

Лещинська Ірина Олександрівна (Лещинская Ирина Александровна, Leshchynska Irina Oleksandrivna) – кандидат технічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри програмної інженерії, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8737-4595>; e-mail: iryna.leshchynska@nure.ua

УДК 004.891.3

О. В. ЧАЛА**РОЗРОБКА ПРЕДСТАВЛЕННЯ ЗНАТЬ НА ОСНОВІ МАРКІВСЬКИХ ЛОГІЧНИХ МЕРЕЖ В СИСТЕМІ ПРОЦЕСНОГО УПРАВЛІННЯ**

Досліджено проблему побудови представлення знань в системі процесного управління на основі аналізу поведінки бізнес-процесів, що представлена у вигляді логів подій. Кожна подія характеризує дію бізнес-процесу. Актуальність проблеми визначається тим, що при управлінні складними знання-ємними бізнес-процесами виконавці можуть змінювати послідовність дій з урахуванням додаткових знань про предметну область. В результаті виникає невідповідність між процесом та його моделлю, що створює труднощі для подальшого управління бізнес-процесом. Для усунення вказаної невідповідності потрібно формалізувати ці додаткові знання та використовувати їх при процесному управлінні, що потребує створення відповідного представлення знань. Запропоновано модель представлення знань враховує статичні й динамічні характеристики бізнес-процесу. Статичні характеристики бізнес-процесу задаються фактами та правилами із аргументами, представленими атрибутами подій логу. Факти і правила формуються на основі відповідних шаблонів. Атрибути задають значення властивостей об'єктів, з якими оперує бізнес-процес. Динамічні особливості бізнес-процесу визначаються через поточний розподіл ймовірностей виконання правил з урахуванням атрибутів поточної події логу бізнес-процесу. Запропонована модель відрізняється тим, що вона враховує обмеження на допустимі послідовності виконання дій бізнес-процесу, а також обмеження на основі апріорних знань про предметну область. Такі обмеження дозволить понизити складність задачі пошуку ймовірностей успішного завершення бізнес-процесу шляхом скорочення множини допустимих трас в тому випадку, якщо виконавці змінили послідовність дій. В практичному аспекті модель забезпечує можливість підтримки прийняття рішень з управління знання-ємними бізнес-процесами на основі прогнозування ймовірностей досягнення кінцевого стану процесу з урахуванням атрибутів подій логу.

Ключові слова: знання-ємні бізнес-процеси, база знань, системи процесного управління, контекст, артефакт, подія, атрибут, причинно-наслідкові зв'язки.

О. В. ЧАЛА**РАЗРАБОТКА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗНАНИЙ НА ОСНОВЕ МАРКОВСКИХ ЛОГИЧЕСКИХ СЕТЕЙ В СИСТЕМЕ ПРОЦЕССНОГО УПРАВЛЕНИЯ**

Исследована проблема построения представления знаний в системе процессного управления на основе анализа поведения бизнес-процессов, представленного в виде логов событий. Каждое событие характеризует действие бизнес-процесса. Актуальность проблемы определяется тем, что при управлении сложными знания-емкими бизнес-процессами исполнители могут изменять последовательность действий с учетом дополнительных знаний о предметной области. В результате возникает несоответствие между процессом и его моделью, что создает трудности для дальнейшего управления этим бизнес-процессом. Для устранения указанного несоответствия нужно формализовать использованные дополнительные знания и применить их при процессном управлении, что требует создания соответствующего представления знаний. Предложенная модель представления знаний учитывает статические и динамические характеристики бизнес-процесса. Статические характеристики бизнес-процесса задаются фактами и правилами с аргументами, представленными атрибутами событий логга. Факты и правила формируются на основе соответствующих шаблонов. Атрибути задают значения свойств объектов, с которыми оперирует бизнес-процес. Динамические особенности бизнес-процесса определяются через текущее распределение вероятностей выполнения правил с учетом атрибутов текущего события логга бизнес-процесса. Предложенная модель отличается тем, что она учитывает ограничения на допустимые последовательности выполнения действий бизнес-процесса, а также ограничения на основе априорных знаний о предметной области. Такие ограничения позволяют снизить сложность задачи поиска вероятностей успешного завершения бизнес-процесса путем сокращения множества допустимых трасс в том случае, если исполнители изменили последовательность действий. В практическом аспекте модель обеспечивает возможность поддержки принятия решений по управлению знания-емкими бизнес-процессами на основе прогнозирования вероятностей достижения конечного состояния процесса с учетом атрибутов событий логга.

Ключевые слова: знание-емкие бизнес-процессы, база знаний, системы процессного управления, контекст, артефакт, событие, атрибут, причинно-следственные связи

О. V. CHALA**DEVELOPMENT OF KNOWLEDGE REPRESENTATION BASED ON MARKOV LOGICAL NETWORKS IN THE BUSINESS PROCESS MANGEMENT SYSTEM**

The problem of constructing knowledge representation in the process control system based on the analysis of the behavior of business processes, represented in the form of logs of events, is studied. Each event characterizes the action of the business process. The urgency of the problem is determined by the fact that when managing complex knowledge-capacious business processes, performers can change the sequence of actions taking into account additional knowledge about the subject area. As a result, there is a discrepancy between the process and its model, which creates difficulties for the further management of this business process. To eliminate this discrepancy, it is necessary to formalize the additional knowledge used and apply them in process management, which requires the creation of an appropriate knowledge representation. The proposed knowledge representation model takes into account the static and dynamic characteristics of the business process. The static characteristics of a business process are specified by facts and rules with arguments represented by the attributes of the log events. Facts and rules are formed on the basis of appropriate templates. Attributes specify the values of the properties of objects with which the business process operates. Dynamic features of the business process are determined through the current distribution of the probability that the rules will be executed, taking into account the attributes of the current business process log event. The proposed model is characterized by the fact that it takes into account the limitations on the permissible sequences of execution of the actions of the business process, as well as restrictions based on a priori knowledge of the subject area. Such restrictions will reduce the complexity of the problem of finding the probabilities of a successful completion of a business process by reducing the number of allowed trails in the event that the performers have changed the sequence of actions. In practical terms, the model provides the ability to support decision-making on the management of knowledge-intensive business processes based on predicting the probabilities of achieving the final state of the process, taking into account the attributes of log events.

Keywords: knowledge-intensive business processes, knowledge base, process management systems, context, artifact, event, attribute, cause-effect relationships

© О. В. Чала, 2018

Вступ. Системи процесного управління призначені для управління підприємством шляхом розробки, уточнення та використання моделей бізнес-процесів (БП) [1]. Розвиток процесного підходу до управління привів до побудови гнучких знання-ємних бізнес-процесів. Особливість таких БП полягає в тому, що її виконавцями є knowledge workers, які можуть змінити хід виконання процесу на основі своїх персональних знань [2] у відповідності до поточного стану контексту та поточних цілей підприємства. Такі зміни призводять до неадекватності моделі БП, що потребує використання формалізованих знань для адаптації цієї моделі та підтримки прийняття рішень з процесного управління. Інформація про поведінку кожного екземпляру бізнес-процесу за результатами моніторингу записується в логах (журналах) подій БП. Зазначене свідчить про актуальність розробки такого представлення знань інформаційної системи процесного управління, яке забезпечувало б можливість автоматизованого виявлення знань на основі аналізу логів БП.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Традиційні підходи інженерії знань, що використовують етап виявлення причинно-наслідкових залежностей у вербальній формі при проведенні інтерв'ю з експертами, пов'язані із значними витратами часу. Це значно звужує сферу застосування таких методів при побудові баз знань для систем управління, оскільки вони функціонують у реальному часі.

В останні роки інтенсивно розвиваються методи автоматизованої побудови баз знань на основі обробки великих масивів даних [3–10]. Головна ідея даної парадигми полягає у виявленні шаблонів причинно-наслідкових залежностей у великих базах даних (БД), доступних у мережі Інтернет, та подальшому формуванні елементів бази знань шляхом підстановки даних із БД у отримані шаблони. Однак вказані підходи мають суттєвий недолік, що створює труднощі при використанні їх для систем процесного управління: вони орієнтовані на побудову статичних залежностей, без врахування темпоральної складової.

Однак для забезпечення підтримки управлінських рішень потрібно регулярно оновлювати базу знань системи процесного управління синхронно з ходом виконання відповідних бізнес-процесів та зміною стану предметної області [11, 12].

Метою даної статті є розробка моделі представлення знань в інформаційній системі процесного управління, яка забезпечувала б можливість побудови бази знань на основі аналізу поведінки бізнес-процесів, представленої у відповідних логах подій.

Для досягнення поставленої мети необхідно поєднати логічний опис предметної області, що характеризує статичний аспект бізнес-процесу, та ймовірнісний опис послідовності дій бізнес-процесу, що характеризує його динамічний аспект.

Модель представлення знань. Запропонована модель представлення знань відповідає парадигмі марковських логічних мереж та містить у собі логічну та ймовірнісну складові.

Логічна складова моделі задається у вигляді зважених наборі логічних фактів та правил, аргументами яких є властивості артефактів контексту виконання дій бізнес-процесу:

$$KB_L = \{(f_i(\{af_k\}), w_i), \{(r_j(\{f_i\}), w_j), \{af_k\}\} | C\}, \quad (1)$$

де f – логічний факт, що свідчить про стан артефактів у предметній області;

af_k – артефакт контексту виконання бізнес-процесу (об'єкт, з яким взаємодіє БП);

w_i – вага логічного факту f_i ;

r_j – правило, що пов'язує між собою логічні факти у відповідності послідовності виконання дій БП;

w_j – вага правила r_j , $0 \leq w_j \leq \infty$ що визначає суттєвість представлених правилом умов та обмежень при виконанні бізнес-процесу.

C – апріорні обмеження на виконання БП, що відображають загальні знання про предметну область.

Зазначимо, що під артефактом зазвичай розуміють об'єкти, з якими оперує бізнес-процес.

Логічна складова наведеної моделі має вигляд графу, кожна вершина якого відповідає факту або правилу. Значення вершини є бінарним та визначається після підстановки значень властивостей артефактів у відповідні факти та правила.

Логічні факти та правила задаються формулами логіки і тому можуть бути розглянуті як обмеження на множину можливих станів та дій бізнес-процесу. Кожній формулі призначається вага, яка встановлює важливість цих обмежень. Чим більша вага, тим більш жорсткими є обмеження відповідного факту або правила. При максимальній вазі ∞ бізнес-процес повинен обов'язково задовольняти визначені фактом або правилом обмеження. Зміну значення ваги доцільно використовувати для визначення контекстних обмежень.

Однак у темпоральному аспекті, при визначенні обмежень на послідовність дій, доцільно визначити окрему підмножину правил $\{r_k\} \in R$. Якщо існує підмножина правил $\{r_k\}$, які виконуються на всіх відомих трасах Π_v логу бізнес-процесу, то ці правила задають підмножину допустимих нових трас Π_n .

Дане обмеження означає, що в представленій множиною відомих та ймовірних нових трас моделі Π повинні виконуватись всі правила r_k :

$$\forall k \Pi |_{r_k} \Pi = \Pi_v \cup \Pi_n, \quad (2)$$

де f – логічний факт, що свідчить про стан артефактів у предметній області;

af_k – артефакт контексту виконання бізнес-процесу (об'єкт, з яким взаємодіє БП);

При управлінні знання-ємними бізнес-процесами виконавці можуть змінювати порядок дій з метою підвищення ефективності виконання БП, тим самим

порушуючи логічні обмеження. Обмеження (2) дозволить понизити розмірність задачі пошуку ймовірностей успішного завершення бізнес-процесу в тому випадку, якщо виконавці змінили послідовність дій. Без цих обмежень в процесі пошуку кожна траса логу бізнес-процесу може бути скомпонована із усіх відомих подій в довільній послідовності. В результаті виникає множина неадекватних трас, які теж потрібно обробляти в процесі пошуку рішення.

В цілому, з урахування елементів представлення знань (1), для адаптації та удосконалення ЗБП необхідно пом'якшити всі інші обмеження, забезпечивши тим самим можливість знайти більш ефективні шляхи реалізації бізнес-процесу.

Апарат марківських логічних мереж дає можливість пом'якшити обмеження на поведінку БП за рахунок використання ймовірнісної складової. Чим частіше порушуються встановлені обмеження при виконанні бізнес-процесу, тим менш ймовірною буде відповідна формула. У випадку частого порушення логічних обмежень відповідні факти та правила в базі знань матимуть меншу, але відмінну від нуля ймовірність. В результаті в моделі бізнес-процесу будуть (хоч і з невеликою ймовірністю) враховані альтернативні варіанти поведінки бізнес-процесу.

Поведінка бізнес-процесу фіксується в його журналі подій. Кожна подія журналу характеризує стан процесу після виконання відповідної дії бізнес-процесу і тому характеризується різними значеннями атрибутів артефактів (тобто різними властивостями). Відповідно, логічні факти можуть відрізнитись для аналогічних подій з різних трас логу. Під аналогічними ми розуміємо такі події, що фіксують виконання однакових дій для різних екземплярів бізнес-процесів, тобто на різних трасах логу.

Тому логічна модель, у відповідності до парадигми марківських логічних мереж, виступає в якості шаблону для побудови ймовірнісної складової. Остання представлена марківським випадковим полем (марківською мережею).

Марківське випадкове поле (марківська мережа) характеризується марківською властивістю, у відповідності до якої майбутній стан системи залежить від її поточного стану та не залежить від подій, які привели систему до поточного стану. Ця властивість відображена у журналі бізнес-процесу у вигляді послідовності подій, причому для кожної події задаються атрибути, що відображають стан контексту на момент виконання відповідної дії бізнес-процесу. Атрибути кожної події повністю відповідають атрибутам артефактів контексту.

Марківська мережа традиційно розглядається як модель для спільного розподілу множини змінних (атрибутів подій логу бізнес-процесу) у вигляді ненаправленого графу, а також множини факторів. Однаковий набір атрибутів пов'язаний з кожною подією, тому фактор може бути визначений на множині (або підмножині) цих атрибутів, або як функція від їх стану. Значення фактору задається позитивним раціональним числом.

Марківське випадкове поле для логу бізнес-процесу моделює спільний розподіл множини атрибутів A подій логу, які одночасно є атрибутами артефактів, що задають їх властивості:

$$A = \{A_i\}, A_i = \{a_j | \exists af = \{a_n\} \wedge a_j = a_n\}, \quad (3)$$

де A_i – підмножина атрибутів для подій однієї a_i – атрибут події логу;

af – артефакт бізнес-процесу;

a_n – атрибут артефакту бізнес-процесу.

Відображення марківської логічної мережі на марківську мережу здійснюється таким чином:

– кожний логічний факт f_i відображається у вершину марківської мережі, тобто двійкові значення предикатів марківської логічної мережі є значеннями вершин марківської мережі;

– логічний факт $f_i(\{af_k\})$ приймає істинне значення лише для одного набору значень атрибутів артефактів, для всіх інших можливих наборів властивостей значення цього логічного факту становить 0;

– дуга між вершинами марківської мережі існує в тому випадку, якщо логічні факти мають спільну підмножину аргументів, що створює можливість для логічного виводу з урахуванням умовних ймовірностей відповідних фактів.

– правила виводу r_j відображаються на фактори харківської мережі.

Ймовірнісний розподіл множини значень атрибутів для всіх можливих реалізацій бізнес-процесу, кожна з яких визначається відображена окремою трасою логу, має такий вигляд:

$$P(A = \alpha) = \frac{1}{Z} \prod_m \phi_m(F_m), \quad (4)$$

де ϕ_m – фактор-функція, аргументом якої є підмножина логічних фактів над випадковими змінними, між якими є причинно-наслідкові зв'язки;

α_k – значення атрибуту артефакту af_k ;

F_m – підмножина f_i

Z – функція розбиття, яка використовується для нормалізації здобутку факторів.

Із виразу (3) видно, що сукупність факторів $\Phi = \{\phi_1, \dots, \phi_m, \dots, \phi_{|Q|}\}$ визначає спільний розподіл на векторі логічних фактів F бізнес-процесу. З позицій процесного управління такий розподіл задає ймовірність кожної траси, або окремих дій бізнес-процесу.

Кожний фактор ϕ_m у відповідності через правила визначається таким чином:

$$\phi_m(F_m) = e^{w_j r_j(\{f_i\})}, \quad (5)$$

де w_j – вага правила r_j .

Ймовірнісний розподіл для можливих реалізацій бізнес-процесу відобразимо з урахуванням зваженої суми правил виконання дій у відповідності до концепції марківських логічних мереж, а також з урахуванням обмежень, що задають введені на основі аналізу логу логічні правила:

$$P(A = \{\alpha_k^t\} | \forall k \Pi | = r_k) = \frac{1}{Z} \exp \left(\sum_j w_j r_j(\{f_i\}) \right). \quad (6)$$

Розподіл (6) задає ймовірності для можливих варіантів подальшого виконання бізнес-процесу щодо поточного стану контексту. Цей стан визнач визначається підмножиною логічних фактів f_i з поточними значеннями атрибутів подій БП $\{\alpha_k\}$ в якості аргументів.

Таким чином, ймовірнісний аспект представлення знань задається через правила виконання дій бізнес-процесу. Тобто ймовірність виконання окремої дії при заданих контекстних умовах залежить від ваги правил r_j та кількості виконаних правил на поточний момент реалізації бізнес-процесу, а також наявності обмежень r_k . Кількість виконаних правил може бути більше одиниці у випадку розпаралелювання дій БП.

Модель представлення знань у інформаційній системі процесного управління, що поєднує логічний опис та ймовірнісну складову, має такий вигляд:

$$\begin{aligned} KB_{L,P} = & (Af, \{(f_i(Af), w_i)\}, \\ & \{(r_j(F), w_j)\}, \\ & P(A = \{\alpha_k^t\} | \forall k \Pi | = r_k) | C,) \end{aligned} \quad (7)$$

де Af – множина атрибутів;

F – множина логічних фактів;

α_k^t – значення властивості артефакту в момент часу t запису події до логу бізнес-процесу.

Запропонована модель відрізняється від існуючих тим, що вона враховує обмеження в темпоральному аспекті, тобто обмеження на допустимі послідовності виконання дій бізнес-процесу, а також обмеження на основі апріорних знань про предметну область. Статичні характеристики бізнес-процесу задаються фактами та правилами із аргументами, представленими атрибутами подій логу. Динамічні особливості БП визначаються через поточний розподіл ймовірностей виконання правил з урахуванням атрибутів поточної події логу бізнес-процесу.

Модель забезпечує умови для підтримки прийняття рішень з управління знання-ємними бізнес-процесами паралельно з виконанням бізнес-процесів на основі ймовірнісного виводу в базі знань.

Представлена модель створює умови для прогнозування поведінки бізнес-процесу в реальному часі відносно поточного стану. Тобто ймовірність логічних фактів у майбутньому залежить від ймовірності виконання тих чи інших дій бізнес-процесу, а ймовірність виконання дій при заданому поточному стані залежить від w_j .

Для того, щоб спрогнозувати ймовірність досягнення бажаного стану в майбутньому, необхідно повторити обчислення (6) після виконання кожного правила. Тоді послідовність виконання бізнес-процесу ми можемо представити як послідовність обчислення розподілу ймовірностей факторів для заданого стану БП. Це дозволяє вирішити задачу прогнозування найбільш ймовірної поведінки бізнес-процесу в тому випадку, якщо поточний стан непередбачувано змінився внаслідок того, що виконавці змінили послідовність дій.

Відзначимо, що в загальному випадку ймовірність виконання правила в ході реалізації бізнес-процесу залежить від ймовірності виконання логічного факту як функції від атрибутів подій. Однак цей показник можна врахувати при шляхом уточнення ваги правила при зміні множині подій логу.

Також поява в складі логу нових подій потребує уточнити поточний стан предметної області, тобто множину логічних фактів. Поява нових логічних фактів у відповідності до (5) дозволяє підставити аргументи у правила і тим самим доповнити фактор-граф.

Цикл поповнення та використання знань у відповідності до характеристик моделі представлення знань (6) передбачає доповнення множини логічних фактів після запису нових подій до логу та відповідного уточнення ваг логічних правил. Поява нових логічних фактів дає можливість доповнити фактор-граф залежностями між цими новими фактами. Далі розширений фактор-граф використовується для прогнозування ймовірностей подальших дій бізнес-процесу. Вказаний прогноз з одного боку дає можливість виявити аномальну поведінку БП, а з іншого перевірити досяжність кінцевого стану (кінцевих дій) процесу.

В тому випадку, якщо останні записані в лог дії відповідають існуючій моделі БП, то розподіл ймовірностей для подальших дій процесу буде відповідати його записаним до логу трасам. Якщо ж співробітники змінили послідовність дій, то розподіл свідчитиме про аномальну поведінку даного екземпляру бізнес-процесу – тобто буде невідповідність до відомих трас.

На основі отриманого розподілу ОПР може прийняти рішення про адаптацію моделі бізнес-процесу, уточнення її конфігурації або доповнення переліку бізнес-правил. Результати змін у моделі будуть відображені новими подіями у складі логу бізнес-процесу. Дана модель реалізується засобами реляційної СУБД. Для представлення знань використовуються, зокрема, таблиці, що містять атрибути подій, класи артефактів; відношення між властивостями артефактів, логічні факти; правила запуску дій бізнес-процесу.

Висновки. Розглянуто проблему побудови представлення знань в системі процесного управління. Показано, що представлення знань повинно забезпечувати можливість виявлення залежностей на основі аналізу записів про поведінку бізнес-процесу, представлену його логом (журналом подій).

Запропоновано модель представлення знань, що враховує стан контексту, а також послідовність виконання дій бізнес-процесу. Стан контексту виконання

дій визначається через набір зважених логічних фактів. Послідовність виконання дій в кожний момент часу визначається через ймовірнісний розподіл правил виконання дій бізнес-процесу, що задовольняють обмеженням на допустимі послідовності виконання дій бізнес-процесу, а також обмеженням, сформованим на основі апіорних знань про предметну область.

В практичному аспекті модель забезпечує можливість підтримки прийняття рішень з управління знання-ємними бізнес-процесами на основі прогнозування ймовірностей досягнення кінцевого стану процесу з урахуванням атрибутів занесених до логу подій.

Список літератури

1. Van Der Aalst W. M. P. Business Process Management: A Comprehensive Survey. *ISRN Software Engineering*. 2013. P. 1–37.
2. Gronau N. *Modeling and Analyzing knowledge intensive business processes with KMDL: Comprehensive insights into theory and practice*. Gito, 2012. 522 p.
3. Nakashole N., Weikum G. Real-time Population of Knowledge Bases: Opportunities and Challenges. *Proceedings of the Joint Workshop on Automatic Knowledge Base Construction and Web-scale Knowledge Extraction (AKBC-WEKEX 2012)*. Montreal, Canada, 2012. P 41–45.
4. Reiss F., Raghavan S., Krishnamurthy R., Zhu H., Vaithyanathan S. An Algebraic Approach to Rule-Based Information Extraction. *24th International Conference on Data Engineering*, 2008. P. 933–942.
5. Gribko E., Suci D. SlimShot: In-database Probabilistic Inference for Knowledge Bases. *International Conference on Very Large Data Bases*. Vol. 9(7). New Delhi, India, 2016. P. 552–563.
6. Gal'arraga L., Heitz G., Murphy K., Suchanek F. M. Canonicalizing Open Knowledge Bases. *CIKM '14 2014 ACM Conference on Information and Knowledge Management*. Shanghai, China, 2014.. P. 1679–1688.
7. Dylla M., Theobald M., Miliaraki I. Querying and Learning in Probabilistic Databases. *Reasoning Web*. 2014. P. 313–368.
8. Bollacker K., Evans C., Paritosh P., Sturge T., Taylor J. Freebase: A Collaboratively Created Graph Database for Structuring Human Knowledge. *ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*. Vancouver, BC, Canada, 2008. P. 1247–1250.
9. S., Wu F., Wang C., De Sa C. Zhang C, R'e C. Incremental Knowledge Base Construction Using DeepDive. *41 st International Conference on Very Large Data Bases (VLDB)*. 2015. Vol. 8(11). P. 1310–1321.
10. Niu F., Zhang C., Re C., Shavlik J. W. DeepDive: Web-scale Knowledge-base Construction using Statistical Learning and Inference. *VLDS*. 2012. P. 25–28.
11. Чала О.В. Принцип та метод еволюційної побудови бази знань на основі аналізу логів ІС процесного управління. *Науково-технічний журнал «Біоніка інтелекту»*. Харків, ХНУРЕ, 2017, № 1(88). С. 80–84.
12. Левикін В. М., Чала О.В. Модель бази знань інформаційної системи процесного управління. *Вісник НТУ «ХПІ»*. Харків, НТУ «ХПІ», 2017. № 28 (1250). С. 74–78.

13. Чала О.В. Еволюційний підхід до управління життєвим циклом знання-ємних бізнес-процесів. *Наукоємні технології*. 2017, № 1 (33). С. 53–59.

References (transliterated)

1. Van Der Aalst W. M. P. Business Process Management: A Comprehensive Survey. *ISRN Software Engineering*. 2013, pp. 1–37.
2. Gronau N. *Modeling and Analyzing knowledge intensive business processes with KMDL: Comprehensive insights into theory and practice*. Gito, 2012. 522 p.
3. Nakashole N., Weikum G. Real-time Population of Knowledge Bases: Opportunities and Challenges. *Proceedings of the Joint Workshop on Automatic Knowledge Base Construction and Web-scale Knowledge Extraction (AKBC-WEKEX 2012)*. Montreal, Canada, 2012, pp 41–45.
4. Reiss F., Raghavan S., Krishnamurthy R., Zhu H., Vaithyanathan S. An Algebraic Approach to Rule-Based Information Extraction. *24th International Conference on Data Engineering*, 2008, pp. 933–942.
5. Gribko E., Suci D. SlimShot: In-database Probabilistic Inference for Knowledge Bases. *International Conference on Very Large Data Bases*. Vol. 9(7). New Delhi, India, 2016, pp. 552–563.
6. Gal'arraga L., Heitz G., Murphy K., Suchanek F. M. Canonicalizing Open Knowledge Bases. *CIKM '14 2014 ACM Conference on Information and Knowledge Management*. Shanghai, China, 2014, pp. 1679–1688.
7. Dylla M., Theobald M., Miliaraki I. Querying and Learning in Probabilistic Databases. *Reasoning Web*. 2014, pp. 313–368.
8. Bollacker K., Evans C., Paritosh P., Sturge T., Taylor J. Freebase: A Collaboratively Created Graph Database for Structuring Human Knowledge. *ACM SIGMOD International Conference on Management of Data*. Vancouver, BC, Canada, 2008, pp. 1247–1250.
9. Shin S., Wu F., Wang C., De Sa C. Zhang C, R'e C. Incremental Knowledge Base Construction Using DeepDive. *41 st International Conference on Very Large Data Bases (VLDB)*. 2015. Vol. 8(11), pp.1310–1321.
10. Niu F., Zhang C., Re C., Shavlik J. W. DeepDive: Web-scale Knowledge-base Construction using Statistical Learning and Inference. *VLDS*, 2012, pp. 25–28.
11. Chala O.V. Prynstyp ta metod evoliutsiinoi pobudovy bazy znan' na osnovi analizu logiv IS protsesnogo upravlinnia [Development of knowledge base after results of analysis of the logs of the process management information system]. *Naukovo-tehnichnyi zhurnal «Bionika intelektu»* [Scientific and Technical Journal "Bionics of Intellect"]. Kharkiv, NURE, 2017, no. 1(88), pp. 80–84.
12. Levykin V.M., Chala O.V. Model bazy znan informatsiinoi systemy protsesnogo upravlinnia [Model of the knowledge base of the process management Information system]. *Visnyk NTU "KhPI"* [Bulletin of the National Technical University "KhPI"]. Kharkov, NTU "KhPI" Publ., 2017, no.28 (1250), pp. 74-78.
13. Chala O.V. Evoliutsiinyi pidhid do upravlinnia zhyttievym tsyklom znannia-yemnykh biznes-protseviv [Evolutionary approach to lifecycle management of knowledge-intensive business processes]. *Naukoiemni tekhnolohii* [Knowledge-based technologies]. Kiev, NAU, 2017, no. 1(33), pp. 53-59.

Надійшла (received) 05.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чала Оксана Вікторівна (Chalaya Oksana Viktorovna, Chala Oksana Viktorivna) – кандидат економічних наук, доцент, Харківський національний університет радіоелектроніки, доцент кафедри інформаційних управляючих систем, м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8265-2480>; e-mail: oksana.chala@nure.ua

Л. Г. РАСКИН, О. В. СЕРАЯ, Ю. Л. ПАРФЕНЮК

МЕТОД ПОЭЛЕМЕНТНОЙ МНОГОКРИТЕРИАЛЬНОЙ КОМПОЗИЦИИ ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ В ТРАНСПОРТНЫХ СЕТЯХ

Предложен простой метод отыскания оптимальных маршрутов в транспортной задаче линейного программирования. Задача решена с использованием совокупности критериев: средняя суммарная стоимость транспортировок, продолжительность и надежность выполнения плана. Модель задачи – ориентированный граф. Вершинам графа соответствуют промежуточные пункты на множестве магистралей, соединяющих пункты производства и потребления. Дуги, соединяющие вершины графа, размечены числами, задающими среднюю стоимость транспортировки единицы продукта через участок маршрута, соответствующей дуге, среднюю продолжительность транспортировки вдоль этого участка и вероятность его преодоления. Для решения задачи предложена мера эффективности использования участков, обладающая свойством аддитивности, то есть мера результата объединения двух участков равна сумме мер этих участков. Мера учитывает значения для всех трех критериев. Описана вычислительная процедура, реализующая метод, которая не требует комбинаторного перебора вариантов и обеспечивает возможность быстрого получения компромиссного результата. Процедура основана на использовании предложенной специальной операции коммутации матриц. Эта операция обеспечивает возможность расчета меры эффективности всех возможных двухшаговых, затем трехшаговых и далее k -шаговых путей. Операция итерационно продолжается до тех пор, пока не будет найдена мера маршрута, соединяющая начальный пункт с конечным. Важным дополнительным достоинством метода является возможность его использования для отыскания эффективных маршрутов в сложных транспортных сетях с большим числом промежуточных пунктов. При этом, если переход от одного из пунктов в другой может быть осуществлен через какой-либо промежуточный пункт из некоторого их множества, то метод позволяет найти наилучший из возможных маршрутов. Рассмотрены примеры решения задачи для разных формулировок многокритериальной транспортной задачи.

Ключевые слова: отыскание оптимальных маршрутов, транспортная задача линейного программирования, многокритериальность, модель системы на основе ориентированного графа, специальная операция коммутации матриц, аддитивная мера учета совокупности критериев.

Л. Г. РАСКИН, О. В. СІРА, Ю. Л. ПАРФЕНЮК

МЕТОД ПОЕЛЕМЕНТНОЇ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ КОМПОЗИЦІЇ ОПТИМАЛЬНИХ МАРШРУТІВ У ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ

Запропоновано простий метод відшукування оптимальних маршрутів у транспортній задачі лінійного програмування. Задача вирішена із використанням сукупності критеріїв: середня сумарна вартість перевезень, тривалість та надійність виконання плану. Модель задачі – орієнтований граф. Вершинам графа відповідають проміжні пункти на множині магистралей, що з'єднують пункти виробництва і споживання. Дуги, що з'єднують вершини графа, розмічені числами, які задають середню вартість транспортування одиниці продукту через ділянку маршруту, що відповідають дузі, середній тривалості транспортування вздовж цієї ділянки та ймовірності подолання маршруту. Для вирішення задачі запропонована міра ефективності використання ділянок, що має адитивні властивості, тобто міра результату об'єднання двох ділянок дорівнює сумі мір цих ділянок. Міра враховує значення для всіх трьох критеріїв. Описана обчислювальна процедура, що реалізує метод та не вимагає комбінаторного перебору варіантів і забезпечує можливість швидкого отримання компромісного результату. Процедура заснована на використанні запропонованої спеціальної операції комутації матриць. Ця операція забезпечує можливість розрахунку міри ефективності всіх можливих двокрокового, потім трикрокового і далі k -крокових шляхів. Операція ітераційно триває до тих пір, поки не буде знайдена міра маршруту, що з'єднує початковий пункт із кінцевим. Важливою додатковою перевагою методу є можливість його використання для відшукування ефективних маршрутів в складних транспортних мережах з великою кількістю проміжних пунктів. При цьому, якщо перехід від одного з пунктів в інший може бути здійснений через будь-який проміжний пункт з деякої їх множини, то метод дозволяє знайти найкращий із можливих маршрутів. Розглянуто приклади розв'язання задачі для різних формулювань багатокритеріальної транспортної задачі.

Ключові слова: пошук оптимальних маршрутів, транспортна задача лінійного програмування, багатокритеріальність, модель системи на основі орієнтованого графа, спеціальна операція комутації матриць, адитивна міра врахування сукупності критеріїв.

L. RASKIN, O. SIRA, Y. PARFENIUK

METHOD OF ELEMENTS-BY-ELEMENTS MULTICRITERIAL COMPOSITION OF OPTIMAL ROUTES IN TRANSPORT NETWORKS

A simple method is proposed for finding optimal routes in the transport problem of linear programming. The task is solved using a set of criteria: the average total cost of transportation, the duration and reliability of plan. The task model is an oriented graph. The vertices of the graph correspond to intermediate points on a number of ways connecting production and consumption points. The arcs connecting the vertices of the graph are marked with numbers specifying the average cost of transporting a product unit through the route section corresponding to the arc, the average duration of transportation along this section and the probability of overcoming it. To solve the task, a measure efficiency use of plots is proposed, which has property of additivity, that is, the measure of result for combination of two sites is equal to the sum of the measures for these sections. The measure takes into account the values for all three criteria. A computational procedure is described that implements a method that does not require a combinatorial enumeration options and ensures the possibility of obtaining a compromise result quickly. The procedure is based on the use of proposed special operation for switching matrices. This operation provides the possibility calculating the effectiveness measure of all possible two-step, then three-step and further k -step paths. The operation is iteratively continued until a route measure connecting the start point to the end point is found. An important additional advantage of method is its ability to use it to find efficient routes in complex transport networks with a large number of intermediate points. In this case, if the transition from one point to another can be carried out through some intermediate point from some of their sets, then the method allows to find the best possible route. Examples of task for different formulations of multicriteria transport task are considered.

Keywords: search for optimal routes, transport task of linear programming, multicriteria, model of system based on the oriented graph, special operation commutation of matrices, additive measure set of criteria.

Введение. Задача построения оптимального маршрута – один из важных этапов более общей транспортной задачи в системе «производители потребителей».

Теоретические основы и практические методы решения транспортных задач линейного программирования хорошо изучены [1–5].

Соответствующая каноническая задача формируется следующим образом.

Задан набор производителей некоторого продукта и набор его потребителей. При этом известны: a_i – объем продукта, изготавливаемого i -м производителем, $i = 1, 2, \dots, m$, b_j – объем продукта, требуемого j -му получателю, $j = 1, 2, \dots, n$.

Для каждой пары индексов (i, j) определен маршрут $M(i, j)$ транспортировки и задана мера эффективности этого маршрута $\mu[M(i, j)]$, равная средней стоимости транспортировки c_{ij} единицы продукта от i -го производителя к j -му потребителю по маршруту $M(i, j)$.

Далее вводится набор $X = (x_{ij})$, x_{ij} – планируемый объем перевозки продукта от i -го производителя к j -му потребителю.

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

и система ограничений:

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

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

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

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{i=1}^n b_i. \quad (4)$$

Задача состоит в отыскании набора $X = (x_{ij})$, минимизирующего (1) и удовлетворяющего ограничениям (2)–(4). При этом предполагается, что каждый из маршрутов доставки продукта от поставщиков к потребителям заранее определен и для выбранной пары (i, j) характеризуется средним значением стоимости транспортировки единицы продукта c_{ij} .

Вместе с тем, реальная система транспортных магистралей состоит из некоторого множества отдельных участков, которые в разных комбинациях могут быть использованы для построения конкретного маршрута для каждой пары «поставщик – потребитель».

Каждый участок удобно задавать номерами пунктов, соответствующих началу и концу этого участка.

Таким образом, если имеется множество $\{1, 2, \dots, k, \dots, K\}$ номеров пунктов на множестве магистралей, то может быть поставлена задача построения матрицы, элемент которой, лежащий в строке k_1 и столбце k_2 , задает среднюю стоимость доставки $c_{k_1 k_2}$ единицы продукта от пункта k_1 до пункта k_2 при транспортировке по наиболее эффективному маршруту.

После получения этой матрицы из нее можно выделить матрицу $C = (c_{ij})$, строки которой определяются номерами поставщиков, а столбцы – номерами потребителей.

Элементы именно этой матрицы используются при формировании критерия эффективности транспортировок (1).

Задача построения совокупности наиболее эффективных маршрутов не является тривиальной даже в описанном варианте, но ещё более усложняется, если при выборе оптимальных маршрутов необходимо учитывать не один, а большее число критериев.

Цель статьи – разработка методики построения оптимальных маршрутов в многокритериальной транспортной задаче линейного программирования. Рассмотрим возможные подходы к решению задачи.

Основной материал – методика построения оптимальных маршрутов в транспортной задаче с учетом совокупности критериев.

А. Отыскание оптимальных маршрутов в однокритериальной задаче.

Сформируем ориентированный граф с вершинами, отображающими пункты, через которые могут проходить маршруты между поставщиками и потребителями, и дугами, соответствующими участкам, обеспечивающим непосредственный переход для какой-либо пары пунктов.

Каждой дуге графа припишем число, задающее среднюю стоимость транспортировки единицы продукта через соответствующий участок маршрута.

Пусть, например, набор пунктов, через которые может проходить маршрут между конкретной парой «поставщик – потребитель», образует граф, приведенный на рис. 1.

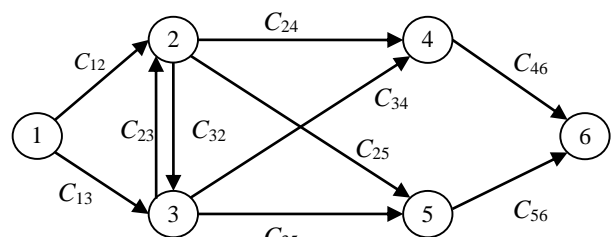


Рис. 1. Граф транспортной сети

Символом M для (i, j) -го элемента этой матрицы отображается ситуация, когда непосредственный переход из пункта i в пункт j невозможен (M – большое число).

Значения средних стоимостей транспортировки, приписанные дугам графа, сведены в матрицу $C^{(1)}$.

Для построения оптимального маршрута между пунктами 1 и 6 используем метод, реализующий специальную операцию коммутации матриц [6].

$$C^{(1)} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \begin{matrix} \begin{matrix} 0 & 3 & 10 & M & M & M \\ M & 0 & 2 & 6 & 3 & M \\ M & 6 & 0 & 5 & 4 & M \\ M & M & M & 0 & M & 6 \\ M & M & M & M & 0 & 3 \end{matrix} \end{matrix} \end{matrix}$$

Для двух матриц P и Q одинакового размера ($m \times n$) введем эту операцию следующим образом:

$$R = (r_{ij}) = P \otimes Q, \quad (5)$$

$$r_{ij} = \min_k \{r_{i1} + q_{1j}; r_{i2} + q_{2j}, \dots, r_{ik} + q_{kj}; \dots; r_{im} + q_{mj}\}, \quad (6)$$

$$r_{jj} = 0, \quad r_{ik} + M = M, \\ i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

Реализуем эту операцию по правилам (6) для вычисления $C^{(2)} = C^{(1)} \otimes C^{(1)}$. При этом имеем:

$$C_{11}^{(2)} = 0,$$

$$C_{12}^{(2)} = \min\{C_{11}^{(1)} + C_{12}^{(1)}; C_{12}^{(1)} + C_{22}^{(1)}; \\ C_{13}^{(1)} + C_{32}^{(1)}; \dots; C_{16}^{(1)} + C_{62}^{(1)}\} = \\ = \min\{0 + 3; 3 + 0; 10 + 6; M + M; \dots; M + M\} = 3,$$

$$C_{13}^{(2)} = \min\{C_{11}^{(1)} + C_{13}^{(1)}; C_{12}^{(1)} + C_{23}^{(1)}; \\ C_{13}^{(1)} + C_{33}^{(1)}; \dots; C_{16}^{(1)} + C_{63}^{(1)}\} = \\ = \min\{0 + 10; 3 + 2; 10 + M; M + M; \dots; M + M\} = 5,$$

$$C_{14}^{(2)} = \min\{C_{11}^{(1)} + C_{14}^{(1)}; C_{12}^{(1)} + C_{24}^{(1)}; C_{13}^{(1)} + C_{34}^{(1)}; \\ C_{41}^{(1)} + C_{44}^{(1)}; \dots; C_{16}^{(1)} + C_{64}^{(1)}\} = \\ = \min\{0 + M; 3 + 6; 10 + 5; M + M; \dots; M + M\} = 9,$$

$$C_{15}^{(2)} = \min\{C_{11}^{(1)} + C_{15}^{(1)}; C_{12}^{(1)} + C_{25}^{(1)}; C_{13}^{(1)} + C_{35}^{(1)}; \\ C_{14}^{(1)} + C_{45}^{(1)}; \dots; C_{16}^{(1)} + C_{65}^{(1)}\} = \\ = \min\{0 + M; 3 + 3; 10 + 4; M + M; \dots; M + M\} = 6,$$

$$C_{16}^{(2)} = \min\{C_{11}^{(1)} + C_{16}^{(1)}; C_{12}^{(1)} + C_{26}^{(1)}; \\ C_{13}^{(1)} + C_{36}^{(1)}; \dots; C_{16}^{(1)} + C_{66}^{(1)}\} = \\ = \min\{0 + M; 3 + M; 10 + M; \dots; M + M\} = M.$$

Действуя аналогично, рассчитаем все элементы матрицы $C^{(2)}$.

Полученная матрица $C^{(2)}$ определяет длины оптимальных двухшаговых маршрутов.

При этом, например, выясняется, что двухшаговый маршрут (1–2–3) из пункта 1 в пункт 3 через пункт 2 короче непосредственного (1–3).

$$C^{(2)} = \begin{matrix} & \begin{matrix} 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \end{matrix} \\ \begin{matrix} 1 \\ 2 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{matrix} & \begin{matrix} \begin{matrix} 0 & 3 & 5 & 9 & 6 & M \\ M & 0 & 2 & 6 & 3 & 6 \\ M & 6 & 0 & 5 & 4 & 7 \\ M & M & M & 0 & M & 6 \\ M & M & M & M & 0 & 3 \end{matrix} \end{matrix} \end{matrix}$$

Пункт 6, недостижимый из пунктов 2 и 3 непосредственно, оказывается достижимым по маршрутам (2–5–6) и (3–5–6).

Однако не существует двухшагового маршрута из пункта 1 в пункт 6.

Сделаем еще один шаг применения операции коммутации.

Вычислим $C^{(3)} = C^{(2)} \otimes C_1$. При этом

$$C_{12}^{(3)} = \min\{C_{11}^{(2)} + C_{12}^{(1)}; C_{22}^{(2)} + C_{22}^{(1)}; \\ C_{13}^{(2)} + C_{32}^{(1)}; \dots; C_{16}^{(2)} + C_{62}^{(1)}\} = \\ = \min\{0 + 3; 3 + 0; 5 + 6; 9 + M; \dots; M + M\} = 3, \\ C_{11}^{(3)} = 0,$$

$$C_{13}^{(3)} = \min\{C_{11}^{(2)} + C_{13}^{(1)}; C_{12}^{(2)} + C_{23}^{(1)}; C_{13}^{(2)} + C_{33}^{(1)}; \\ C_{14}^{(2)} + C_{43}^{(1)}; \dots; C_{16}^{(2)} + C_{63}^{(1)}\} = \\ = \min\{0 + 10; 3 + 2; 10 + 0; 9 + M; \dots; M + M\} = 5,$$

$$C_{14}^{(3)} = \min\{C_{11}^{(2)} + C_{14}^{(1)}; C_{12}^{(2)} + C_{24}^{(1)}; C_{13}^{(2)} + C_{34}^{(1)}; \\ C_{14}^{(2)} + C_{44}^{(1)}; \dots; C_{16}^{(2)} + C_{64}^{(1)}\} = \\ = \min\{0 + M; 3 + 6; 5 + 5; 9 + 0; \\ 6 + M; \dots; M + M\} = 9,$$

$$C_{15}^{(3)} = \min\{C_{11}^{(2)} + C_{15}^{(1)}; C_{12}^{(2)} + C_{25}^{(1)}; C_{13}^{(2)} + C_{35}^{(1)}; \\ C_{14}^{(2)} + C_{45}^{(1)}; \dots; C_{16}^{(2)} + C_{65}^{(1)}\} = \\ = \min\{0 + M; 3 + 3; 5 + 4; 9 + M; 6 + 0; M; \dots; M\} = \\ = 6,$$

$$C_{16}^{(3)} = \min\{C_{11}^{(2)} + C_{16}^{(1)}; C_{12}^{(2)} + C_{26}^{(1)}; C_{13}^{(2)} + C_{36}^{(1)}; \\ C_{14}^{(2)} + C_{46}^{(1)}; \dots; C_{16}^{(2)} + C_{66}^{(1)}\} = \\ = \min\{0 + M; 3 + M; 5 + M; 9 + 6; \\ 6 + 3; M + 0; \dots; M + M\} = 9.$$

Действуя аналогично, рассчитаем все остальные элементы матрицы $C^{(3)}$. Полученная матрица $C^{(3)}$ определяет длины оптимальных трехшаговых маршрутов.

При этом определен маршрут, обеспечивающий достижение пункта 6 из пункта 1 за три шага (1–2–5–6), имеющий длину 9.

Отметим, кроме того, что эта матрица содержит вычисленные длины маршрутов, ко всем достижимым пунктам рассматриваемой в этом примере транспортной сети. Решение задачи закончено.

Изложенная методика расчета определяемых маршрутов, выполненная для всех пар «поставщик – потребитель», реализует подготовительный этап решения канонической транспортной задачи линейного программирования.

	1	2	3	4	5	6
1	0	3	5	9	6	9
2	M	0	2	6	3	6
3	M	6	0	5	4	7
4	M	M	M	0	M	6
5	M	M	M	M	0	3

В. Отыскание оптимальных маршрутов в двухкритериальной транспортной задаче.

Практика решения транспортных задач линейного программирования показывает, что решения, полученные по критерию – средняя суммарная стоимость транспортировки не всегда и не полностью удовлетворяют потребителя, поскольку эти решения могут оказаться неудачными по другим естественным критериям (например, продолжительность реализации плана перевозок или надежность его выполнения).

Это обстоятельство приводит к необходимости разработки компромиссных планов с учетом совокупности критериев.

В этой ситуации могут быть предложены различные подходы [7–11]. Один из наиболее употребительных в двухкритериальной задаче состоит в выборе основного из пары критериев, а второй при этом используется как ограничение. Другие подходы реализуют какие-либо возможные методы скаляризации векторного критерия.

Пусть, например, в конкретной задаче необходимо учитывать среднюю суммарную стоимость транспортировки C_{Σ} и вероятность выполнения плана P . При этом скаляризованный критерий может быть получен в виде отношения C_{Σ}/P , значение которого минимизируется.

Если считать этот подход приемлемым, то его следует реализовать и в задаче выбора оптимальных маршрутов. В соответствии с этим для участка (i, j) введем меру эффективности использования этого участка при построении маршрута, равную

$$\mu = \frac{C_{ij}}{P_{ij}}.$$

Эта мера для двух последовательно расположенных участков (i, k) и (k, j) в

соответствии с логикой её формирования должна быть равна

$$\mu[(i, k), (k, j)] = \mu[(i, j)] = \frac{C_{ik} + C_{kj}}{P_{ik}P_{kj}}.$$

К сожалению, введенная мера не аддитивна, поскольку эта мера для объединения (суммы) двух участков не равна сумме мер этих участков, то есть:

$$\mu[(i, k), (k, j)] = \mu[(i, j)] = \frac{C_{ij}}{P_{ij}} = \frac{C_{ik} + C_{kj}}{P_{ik}P_{kj}} \neq$$

$$\neq \frac{C_{ik}}{P_{ik}} + \frac{C_{kj}}{P_{kj}} \mu[(i, k)] + \mu[(k, j)].$$

Возможный способ преодоления возникшей проблемы таков. Введем функцию

$$U(Z) = \frac{1}{P} Z^C$$

и операцию над ней

$$F(U(Z)) = \frac{dU(Z)}{dZ} \Big|_{z=1} = \frac{C}{P}.$$

Далее для двух любых

$$U_1(Z) = \frac{1}{P_1} Z^{C_1}$$

и для

$$U_2(Z) = \frac{1}{P_2} Z^{C_2}$$

введем

$$U(Z) = U_1(Z) \cdot U_2(Z) = \frac{1}{P_1} Z^{C_1} \cdot \frac{1}{P_2} Z^{C_2} = \frac{1}{P_1 P_2} Z^{C_1 + C_2}.$$

При этом

$$F(U(Z)) = F(U_1(Z) \cdot U_2(Z)) = \frac{dU(Z)}{dZ} \Big|_{z=1} = \frac{d}{dZ} \left(\frac{1}{P_1 P_2} Z^{C_1 + C_2} \right) \Big|_{z=1} = \frac{C_1 + C_2}{P_1 P_2}.$$

В соответствии с этими соотношениями, если меры двух последовательно расположенных участков равны соответственно C_{ik}/P_{ik} и C_{kj}/P_{kj} , то для

$$U_{ik} = \frac{1}{P_{ik}} Z^{C_{ik}}, \quad U_{kj} = \frac{1}{P_{kj}} Z^{C_{kj}},$$

$$U_{ij} = U_{ik} \cdot U_{kj} = \frac{1}{P_{ik} P_{kj}} Z^{C_{ik} + C_{kj}}.$$

имеем

$$\mu[U_{ik}, U_{kj}] = F(U_{ij}(Z)) = \frac{C_{ik} + C_{kj}}{P_{ik} P_{kj}}.$$

Таким образом, введенная операция позволяет, используя меры отдельных участков, рассчитать меру их объединения. Обозначив, для краткости, эту

операцию символом \oplus , запишем требуемые соотношения для двух и произвольного числа участков:

$$\mu(i, j) = \frac{C_{ik}}{P_{ik}} \oplus \frac{C_{kj}}{P_{kj}} = \frac{C_{ik} + C_{kj}}{P_{ik} P_{kj}},$$

$$\mu(k_1, k_n) = \frac{C_{k_1} C_{k_2}}{P_{k_1} P_{k_2}} \oplus \frac{C_{k_2} C_{k_3}}{P_{k_2} P_{k_3}} \oplus \dots \oplus \frac{C_{k_{n-1}} C_{k_n}}{P_{k_{n-1}} P_{k_n}} =$$

$$= \frac{\sum_{s=1}^{n-1} C_{s, s+1}}{\prod_{s=1}^{n-1} P_{s, s+1}}.$$

Введенная операция может быть использована при решении задач отыскания эффективных маршрутов в сложных транспортных сетях с большим числом промежуточных пунктов.

При этом, если переход из i в j может быть осуществлен через какой-то промежуточный пункт из совокупности $(1, 2, \dots, k, \dots, l)$, то наиболее эффективный из возможных переходов определим соотношением

$$r_{ij} = \min_k (r_{ik} \oplus r_{kj}) = \min_k \frac{C_{ik} + C_{kj}}{P_{ik} P_{kj}}.$$

Проиллюстрируем технологию использования полученных соотношений на максимально простом примере.

Пусть система магистралей, связывающая совокупность пунктов с номерами 1, 2, ..., 6, имеет вид, представленный на рис. 2.

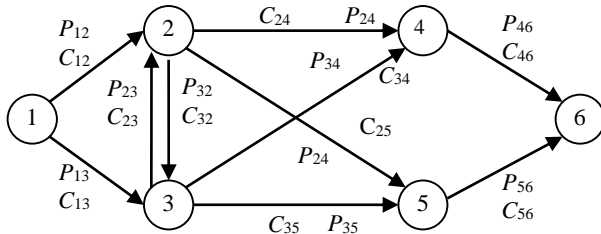


Рис. 2. Граф переходов транспортной сети

Числовые значения характеристик участков между пунктами сведены в матрицу $R^{(1)}$.

Элемент этой матрицы, лежащий в i -й строке и j -м столбце содержит характеристики маршрута между пунктами i и j , причем слева размещено

	1	2	3	4	5	6
1	0	3	0.6	10	0.3	M
2	M	0	2	0.8	6	0.2
3	M	6	0.8	0	5	0.7
4	M	M	M	0	M	6
5	M	M	M	M	0	3

значение C_{ij} , а справа – значение P_{ij} . Символом M отображается ситуация, когда пункт j недостижим из пункта i непосредственно.

Рассчитаем $R^{(2)} = R^{(1)} \oplus R^{(1)}$:

	1	2	3	4	5	6
1	0	3	0.6	5	0.48	15
2	M	0	2	0.8	7	0.56
3	M	6	0.8	0	5	0.7
4	M	M	M	0	M	6
5	M	M	M	M	0	3

$$r_{12}^{(2)} = \min \left\{ \frac{C_{12}}{P_{12}}; \frac{C_{13} + C_{32}}{P_{13} \cdot P_{32}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{3}{0.6}; \frac{10 + 6}{0.3 \cdot 0.8} \right\} = \min\{5; 66\} = 5,$$

$$r_{13}^{(2)} = \min \left\{ \frac{C_{13}}{P_{13}}; \frac{C_{12} + C_{23}}{P_{12} \cdot P_{23}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{10}{0.3}; \frac{3 + 2}{0.3 \cdot 0.8} \right\} = \min\{33.3; 10.41\} = 10.41,$$

$$r_{14}^{(2)} = \min \left\{ \frac{C_{12} + C_{24}}{P_{12} \cdot C_{24}}; \frac{C_{13} + C_{34}}{P_{13} \cdot P_{34}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{3 + 6}{0.6 \cdot 0.2}; \frac{10 + 5}{0.3 \cdot 0.7} \right\} = \min\{75; 71.43\} = 71.43,$$

$$r_{15}^{(2)} = \min \left\{ \frac{C_{12} + C_{25}}{P_{12} \cdot C_{25}}; \frac{C_{13} + C_{35}}{P_{13} \cdot P_{35}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{3 + 3}{0.6 \cdot 0.7}; \frac{10 + 4}{0.3 \cdot 0.2} \right\} = \min\{14.29; 233\} = 14.29,$$

$$r_{24}^{(2)} = \min \left\{ \frac{C_{24}}{P_{24}}; \frac{C_{23} + C_{34}}{P_{23} \cdot P_{34}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{6}{0.2}; \frac{2 + 5}{0.8 \cdot 0.7} \right\} = \min\{30; 12.5\} = 12.5,$$

$$r_{25}^{(2)} = \min \left\{ \frac{C_{25}}{P_{25}}; \frac{C_{23} + C_{35}}{P_{23} \cdot P_{35}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{3}{0.7}; \frac{2 + 4}{0.8 \cdot 0.2} \right\} = \min\{4.28; 37.5\} = 4.28,$$

$$r_{34}^{(2)} = \min \left\{ \frac{C_{34}}{P_{34}}; \frac{C_{32} + C_{24}}{P_{32} \cdot P_{24}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{5}{0.7}; \frac{6+6}{0.8 \cdot 0.2} \right\} = \min \{7.14; 75\} = 7.14,$$

$$r_{35}^{(2)} = \min \left\{ \frac{C_{34}}{P_{34}}; \frac{C_{32} + C_{24}}{P_{32} \cdot P_{24}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{4}{0.2}; \frac{6+3}{0.8 \cdot 0.7} \right\} = \min \{20; 16.07\} = 16.07,$$

$$r_{36}^{(2)} = \min \left\{ \frac{C_{35} + C_{56}}{P_{35} \cdot P_{56}}; \frac{C_{34} + C_{46}}{P_{34} \cdot P_{46}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{4+3}{0.2 \cdot 0.5}; \frac{5+6}{0.7 \cdot 0.8} \right\} = \min \{70; 19.64\} = 19.64,$$

$$r_{46}^{(2)} = r_{46}^{(1)}, r_{56}^{(2)} = r_{46}^{(1)}.$$

Поскольку пункт 6 из пункта 1 за два шага не достижим, выполним еще один шаг коммутации, вычислив $R^{(3)} = R^{(2)} \oplus R^{(1)}$.

	1	2	3	4	5	6
1	0	3	0.6	5	0.48	10
2	<i>M</i>	0	2	0.8	7	0.56
3	<i>M</i>	6	0.8	0	5	0.7
4	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	0	<i>M</i>	6
5	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	<i>M</i>	0	3

$$r_{12}^{(3)} = \frac{3}{0.6}, r_{13}^{(3)} = \frac{5}{0.48} = 14.6,$$

$$r_{14}^{(3)} = \min \left\{ r_{12}^{(2)} \oplus r_{24}^{(1)}; r_{13}^{(2)} \oplus r_{34}^{(1)} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{3+6}{0.6 \cdot 0.2}; \frac{5+5}{0.48 \cdot 0.7} \right\} = \min \{75; 29.76\} = 29.76,$$

$$r_{15}^{(3)} = \min \left\{ r_{12}^{(2)} \oplus r_{25}^{(1)}; r_{13}^{(2)} \oplus r_{35}^{(1)} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{3+3}{0.6 \cdot 0.7}; \frac{5+4}{0.48 \cdot 0.2} \right\} =$$

$$= \min \{14.28; 93.7\} = 14.28,$$

$$r_{16}^{(3)} = \min \left\{ r_{14}^{(2)} \oplus r_{46}^{(1)}; r_{15}^{(2)} \oplus r_{56}^{(1)} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{15+6}{0.21 \cdot 0.8}; \frac{6+3}{0.42 \cdot 0.5} \right\} =$$

$$= \min \{125; 42.8\} = 42.8,$$

$$r_{24}^{(3)} = r_{24}^{(2)}, r_{25}^{(3)} = r_{25}^{(2)},$$

$$r_{26}^{(3)} = \min \left\{ r_{24}^{(2)} \oplus r_{46}^{(1)}; r_{25}^{(2)} \oplus r_{56}^{(1)} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{7+6}{0.56 \cdot 0.8}; \frac{3+3}{0.7 \cdot 0.5} \right\} = \min \{29.01; 17.14\} =$$

$$= 17.14,$$

$$r_{35}^{(3)} = r_{35}^{(2)},$$

$$r_{36}^{(3)} = \min \left\{ r_{34}^{(2)} \oplus r_{46}^{(1)}; r_{35}^{(2)} \oplus r_{56}^{(1)} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{5+6}{0.7 \cdot 0.8}; \frac{9+3}{0.56 \cdot 0.5} \right\} = \min \{19.64; 42.8\} =$$

$$= 19.64,$$

$$r_{46}^{(3)} = r_{46}^{(2)}, r_{56}^{(3)} = r_{56}^{(2)}.$$

Таким образом, наиболее эффективный маршрут из пункта 1 в пункт 6 является трехэтапным (1–2–5–6) и имеет наилучший показатель эффективности:

Наилучший показатель эффективности равен $9/0.21 = 42.85$.

С. Отыскание оптимальных маршрутов в трехкритериальной транспортной задаче

Рассмотренная выше методика отыскания оптимальных маршрутов в двухкритериальной транспортной задаче легко распространяется на случай, когда из практических соображений кроме использованных ранее критериев целесообразно учитывать еще один важный показатель – продолжительность T реализации плана (где C – это средняя суммарная стоимость транспортировок, P – вероятность выполнения плана). Мера эффективности использования участка (i, j) в этом случае может быть определена значением

$$\mu(i, j) = \frac{C_{ij} T_{ij}}{P_{ij}}.$$

Для расчета этой меры для последовательности участков было использовано общее соотношение, аналогичное соотношению:

$$\mu(k_1 k_n) =$$

$$= \frac{C_{k_1 k_2} T_{k_1 k_2}}{P_{k_1 k_2}} \oplus \frac{C_{k_2 k_3} T_{k_2 k_3}}{P_{k_2 k_3}} \oplus \dots \oplus \frac{C_{k_{p-1} k_n} T_{k_{p-1} k_n}}{P_{k_{p-1} k_n}} =$$

$$= \frac{\sum_{S=1}^{n-1} C_{k_S k_{S+1}} T_{k_S k_{S+1}}}{\prod_{S=1}^{n-1} P_{k_S k_{S+1}}}.$$

Характеристики участков сети (в том же, что и ранее в примере) сведем в матрицу $R^{(1)}$, элемент которой в i -й строке и j -м столбце определяет их значения для участка (i, j) .

$$R^{(1)} = \begin{array}{c|cccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \hline 1 & 0 & \begin{array}{c|c} 3 & 5 \\ \hline 0.6 \end{array} & \begin{array}{c|c} 10 & 7 \\ \hline 0.3 \end{array} & M & M & M \\ \hline 2 & M & 0 & \begin{array}{c|c} 2 & 3 \\ \hline 0.8 \end{array} & \begin{array}{c|c} 6 & 4 \\ \hline 0.2 \end{array} & \begin{array}{c|c} 3 & 8 \\ \hline 0.7 \end{array} & M \\ \hline 3 & M & \begin{array}{c|c} 6 & 6 \\ \hline 0.8 \end{array} & 0 & \begin{array}{c|c} 5 & 3 \\ \hline 0.7 \end{array} & \begin{array}{c|c} 4 & 3 \\ \hline 0.2 \end{array} & M \\ \hline 4 & M & M & M & 0 & M & \begin{array}{c|c} 6 & 4 \\ \hline 0.8 \end{array} \\ \hline 5 & M & M & M & M & 0 & \begin{array}{c|c} 3 & 22 \\ \hline 0.5 \end{array} \end{array}$$

Рассчитаем $R^{(2)} = R^{(1)} \oplus R^{(1)}$.

$$R^{(2)} = \begin{array}{c|cccccc} & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ \hline 1 & 0 & \begin{array}{c|c} 3 & 5 \\ \hline 0.6 \end{array} & \begin{array}{c|c} 5 & 8 \\ \hline 0.48 \end{array} & \begin{array}{c|c} 9 & 9 \\ \hline 0.12 \end{array} & \begin{array}{c|c} 6 & 13 \\ \hline 0.42 \end{array} & M \\ \hline 2 & M & 0 & \begin{array}{c|c} 2 & 3 \\ \hline 0.8 \end{array} & \begin{array}{c|c} 7 & 6 \\ \hline 0.56 \end{array} & \begin{array}{c|c} 3 & 8 \\ \hline 0.7 \end{array} & \begin{array}{c|c} 6 & 30 \\ \hline 0.35 \end{array} \\ \hline 3 & M & \begin{array}{c|c} 6 & 6 \\ \hline 0.8 \end{array} & 0 & \begin{array}{c|c} 5 & 3 \\ \hline 0.7 \end{array} & \begin{array}{c|c} 4 & 3 \\ \hline 0.2 \end{array} & \begin{array}{c|c} 11 & 7 \\ \hline 0.56 \end{array} \\ \hline 4 & M & M & M & 0 & M & \begin{array}{c|c} 6 & 4 \\ \hline 0.8 \end{array} \\ \hline 5 & M & M & M & M & 0 & \begin{array}{c|c} 3 & 22 \\ \hline 0.5 \end{array} \end{array}$$

Эти характеристики размещены следующим образом: слева вверху в ячейке расположена стоимость транспортировки C_{ij} , справа вверху в ячейке расположена продолжительность прохождения участка T_{ij} , внизу в ячейке расположена вероятность выполнения транспортировки P_{ij} .

Последовательность решения задачи приведем без пояснений.

$$\begin{aligned} r_{12}^{(2)} &= \min \left\{ \frac{C_{12}T_{12}}{P_{12}}; \frac{(C_{13} + C_{32})(T_{13} + T_{32})}{P_{13} \cdot P_{32}} \right\} = \\ &= \min \left\{ \frac{3 \cdot 5}{0.6}; \frac{(10 + 6)(7 + 3)}{0.3 \cdot 0.8} \right\} = \\ &= \min \left\{ \frac{15}{0.6}; \frac{16 \cdot 10}{0.24} \right\} = \min\{25; 60\} = 25, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{13}^{(2)} &= \min \left\{ \frac{C_{13}T_{13}}{P_{13}}; \frac{(C_{12} + C_{23})(T_{12} + T_{23})}{P_{12} \cdot P_{23}} \right\} = \\ &= \min \left\{ \frac{10 \cdot 7}{0.3}; \frac{(3 + 2)(5 + 3)}{0.6 \cdot 0.8} \right\} = \\ &= \min \left\{ \frac{70}{0.3}; \frac{40}{0.48} \right\} = \min\{233.3; 83.3\} = 83.3, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{14}^{(2)} &= \min \left\{ \frac{(C_{12} + C_{24})(T_{12} + T_{24})}{P_{12} \cdot P_{24}}; \frac{(C_{13} + C_{34})(T_{13} + T_{34})}{P_{13} \cdot P_{34}} \right\} = \\ &= \min \left\{ \frac{9 \cdot 9}{0.6 \cdot 0.2}; \frac{15 \cdot 10}{0.3 \cdot 0.7} \right\} = \min \left\{ \frac{81}{0.12}; \frac{150}{0.21} \right\} = \\ &= \min\{675; 714\} = 675, \\ r_{15}^{(2)} &= \min \left\{ \frac{(C_{12} + C_{25})(T_{12} + T_{25})}{P_{12} \cdot P_{25}}; \frac{(C_{13} + C_{35})(T_{13} + T_{35})}{P_{13} \cdot P_{35}} \right\} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &= \min \left\{ \frac{6 \cdot 13}{0.6 \cdot 0.7}; \frac{14 \cdot 10}{0.3 \cdot 0.2} \right\} = \min \left\{ \frac{78}{0.42}; \frac{140}{0.06} \right\} = \\ &= \min\{185.7; 2333.3\} = 185.7, \\ r_{23}^{(2)} &= r_{23}^{(1)}, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{24}^{(2)} &= \min \left\{ \frac{C_{24}T_{24}}{P_{24}}; \frac{(C_{23} + C_{34})(T_{23} + T_{34})}{P_{23} \cdot P_{34}} \right\} = \\ &= \min \left\{ \frac{6 \cdot 4}{0.2}; \frac{7 \cdot 6}{0.8 \cdot 0.7} \right\} = \min \left\{ \frac{24}{0.2}; \frac{42}{0.56} \right\} = \\ &= \min\{120; 75\} = 75, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{25}^{(2)} &= \min \left\{ \frac{C_{25}T_{25}}{P_{25}}; \frac{(C_{23} + C_{35})(T_{23} + T_{35})}{P_{23} \cdot P_{35}} \right\} = \\ &= \min \left\{ \frac{3 \cdot 8}{0.7}; \frac{6 \cdot 6}{0.8 \cdot 0.2} \right\} = \min \left\{ \frac{24}{0.7}; \frac{36}{0.16} \right\} = \\ &= \min\{34.3; 225\} = 34.3, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{34}^{(2)} &= \min \left\{ \frac{C_{34}T_{34}}{P_{34}}; \frac{(C_{32} + C_{24})(T_{32} + T_{24})}{P_{32} \cdot P_{24}} \right\} = \\ &= \min \left\{ \frac{5 \cdot 3}{0.7}; \frac{12 \cdot 10}{0.8 \cdot 0.2} \right\} = \min \left\{ \frac{15}{0.7}; \frac{120}{0.16} \right\} = \\ &= \min\{21.43; 750\} = 21.43, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} r_{35}^{(2)} &= \min \left\{ \frac{C_{35}T_{35}}{P_{35}}; \frac{(C_{32} + C_{25})(T_{32} + T_{25})}{P_{32} \cdot P_{25}} \right\} = \\ &= \min \left\{ \frac{4 \cdot 3}{0.2}; \frac{9 \cdot 14}{0.8 \cdot 0.7} \right\} = \min \left\{ \frac{12}{0.2}; \frac{126}{0.56} \right\} = \\ &= \min\{60; 22\} = 60, \end{aligned}$$

$$r_{26}^{(2)} = \min \left\{ \frac{(C_{24} + C_{46})(T_{24} + T_{46})}{P_{24} \cdot P_{46}}; \frac{(C_{25} + C_{56})(T_{25} + T_{56})}{P_{25} \cdot P_{56}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{12 \cdot 8}{0.16}; \frac{6 \cdot 30}{0.35} \right\} = \min\{600; 514.3\} = 514.3,$$

$$r_{36}^{(2)} = \min \left\{ \frac{(C_{35} + C_{56})(T_{35} + T_{56})}{P_{35} \cdot P_{56}}; \frac{(C_{34} + C_{46})(T_{34} + T_{46})}{P_{34} \cdot P_{36}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{7 \cdot 25}{0.10}; \frac{11 \cdot 7}{0.56} \right\} = \min\{2750; 137.5\} = 137.5,$$

$$r_{46}^{(2)} = r_{46}^{(1)}, r_{56}^{(2)} = r_{56}^{(1)}.$$

Рассчитаем теперь $R^{(3)} = R^{(2)} \oplus R^{(1)}$.

		1	2	3	4	5	6
$R^{(3)} =$	1	0	3 5 0.6	5 8 0.24	10 11 0.336	6 13 0.42	15 13 0.096
	2	M	0	2 3 0.8	7 6 0.56	3 8 0.7	13 10 0.448
	3	M	6 6 0.8	0	5 3 0.7	4 3 0.2	11 7 0.56
	4	M	M	M	0	M	6 4 0.8
	5	M	M	M	M	0	3 22 0.5

$$r_{12}^{(3)} = r_{12}^{(2)}, r_{13}^{(3)} = r_{13}^{(2)},$$

$$r_{14}^{(3)} = \min \left\{ \frac{(C_{12}^{(2)} + C_{24})(T_{12}^{(2)} + T_{24})}{P_{12}^{(2)} \cdot P_{24}}; \frac{(C_{13}^{(2)} + C_{34})(T_{13}^{(2)} + T_{34})}{P_{13}^{(2)} \cdot P_{34}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{(3 + 6)(5 + 4)}{0.6 \cdot 0.2}; \frac{(5 + 5)(8 + 3)}{0.48 \cdot 0.7} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{81}{0.12}; \frac{110}{0.336} \right\} = \min\{675; 327.4\} = 327.4,$$

$$r_{15}^{(3)} = \min \left\{ \frac{(C_{12}^{(2)} + C_{25})(T_{12}^{(2)} + T_{25})}{P_{12}^{(2)} \cdot P_{25}}; \frac{(C_{13}^{(2)} + C_{35})(T_{13}^{(2)} + T_{35})}{P_{13}^{(2)} \cdot P_{35}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{(3 + 3)(5 + 8)}{0.6 \cdot 0.7}; \frac{(5 + 4)(8 + 3)}{0.48 \cdot 0.2} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{78}{0.42}; \frac{99}{0.096} \right\} = \min\{185.7; 1031\} = 185.7,$$

$$r_{16}^{(3)} = \min \left\{ \frac{(C_{14}^{(2)} + C_{46})(T_{14}^{(2)} + T_{46})}{P_{14}^{(2)} \cdot P_{46}}; \frac{(C_{15}^{(2)} + C_{56})(T_{15}^{(2)} + T_{56})}{P_{15}^{(2)} \cdot P_{56}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{(9 + 6)(9 + 4)}{0.12 \cdot 0.8}; \frac{(6 + 3)(13 + 22)}{0.42 \cdot 0.3} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{15 \cdot 13}{0.096}; \frac{9 \cdot 35}{0.126} \right\} = \min \left\{ \frac{195}{0.096}; \frac{315}{0.126} \right\} =$$

$$= \min\{2031; 2500\} = 2031,$$

$$r_{23}^{(3)} = r_{23}^{(2)}, r_{24}^{(3)} = r_{24}^{(2)}, r_{25}^{(3)} = r_{25}^{(2)},$$

$$r_{26}^{(3)} = \min \left\{ \frac{(C_{24}^{(2)} + C_{46})(T_{24}^{(2)} + T_{46})}{P_{24}^{(2)} \cdot P_{46}}; \frac{(C_{25}^{(2)} + C_{56})(T_{25}^{(2)} + T_{56})}{P_{25}^{(2)} \cdot P_{56}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{(7 + 6)(6 + 4)}{0.56 \cdot 0.8}; \frac{(3 + 3)(8 + 22)}{0.7 \cdot 0.5} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{13 \cdot 10}{0.448}; \frac{6 \cdot 30}{0.35} \right\} = \min\{290.2; 514.2\} =$$

$$= 290.2,$$

$$r_{34}^{(3)} = r_{34}^{(2)}, r_{35}^{(3)} = r_{35}^{(2)}, r_{25}^{(3)} = r_{25}^{(2)},$$

$$r_{36}^{(3)} = \min \left\{ \frac{(C_{34}^{(2)} + C_{46})(T_{34}^{(2)} + T_{46})}{P_{34}^{(2)} \cdot P_{46}}; \frac{(C_{35}^{(2)} + C_{56})(T_{35}^{(2)} + T_{56})}{P_{35}^{(2)} \cdot P_{56}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{(5 + 6)(3 + 4)}{0.7 \cdot 0.8}; \frac{(4 + 3)(3 + 22)}{0.2 \cdot 0.5} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{11 \cdot 7}{0.56}; \frac{7 \cdot 25}{0.10} \right\} = \min\{137.5; 1750\} = 137.5,$$

$$r_{46}^{(3)} = r_{46}^{(2)}, r_{56}^{(3)} = r_{56}^{(2)},$$

$$R^{(4)} = R^{(3)} \oplus R^{(1)}$$

$$r_{12}^{(4)} = r_{12}^{(3)}, r_{23}^{(4)} = r_{23}^{(3)}, r_{13}^{(4)} = r_{13}^{(3)}, r_{24}^{(4)} = r_{24}^{(3)},$$

$$r_{14}^{(4)} = r_{14}^{(3)}, r_{25}^{(4)} = r_{25}^{(3)}, r_{15}^{(4)} = r_{15}^{(3)}, r_{25}^{(4)} = r_{25}^{(3)},$$

$$r_{34}^{(4)} = r_{34}^{(3)}, r_{36}^{(4)} = r_{36}^{(3)}, r_{35}^{(4)} = r_{35}^{(3)},$$

$$r_{16}^{(4)} = \min \left\{ \frac{(C_{14}^{(3)} + C_{46})(T_{14}^{(3)} + T_{46})}{P_{14}^{(3)} \cdot P_{46}}, \frac{(C_{15}^{(3)} + C_{56})(T_{15}^{(3)} + T_{56})}{P_{15}^{(3)} \cdot P_{56}} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{(10 + 6)(11 + 4)}{0.336 \cdot 0.8}; \frac{(6 + 3)(13 + 22)}{0.12 \cdot 0.5} \right\} =$$

$$= \min \left\{ \frac{16 \cdot 15}{0.269}; \frac{15 \cdot 35}{0.06} \right\} = \min\{892.2; 8750\} =$$

$$= 892.2.$$

		1	2	3	4	5	6
$R^{(4)} =$	1	0	3 5 0.6	5 8 0.24	10 11 0.168	6 13 0.12	16 15 0.269
	2	M	0	2 3 0.8	7 6 0.56	3 8 0.7	13 10 0.448
	3	M	6 6 0.8	0	5 3 0.7	4 3 0.2	11 7 0.56
	4	M	M	M	0	M	6 4 0.8
	5	M	M	M	M	0	9 22 0.3

Оптимальный маршрут в трехкритериальной задаче из пункта 1 в пункт 6 является четырехзвенным (1–2–3–4–6). Соответствующее этому маршруту значение меры эффективности равно

$$\mu(r_{16}^{(3)}) = \frac{(C_{12} + C_{23} + C_{34} + C_{46})}{P_{12}P_{23}P_{34}P_{46}} \times$$

$$\times \frac{(T_{12} + T_{23} + T_{34} + T_{46})}{P_{12}P_{23}P_{34}P_{46}} = 892.2.$$

Возвращаясь к двухкритериальной задаче, отметим, что в том случае оптимальным был трехзвенный маршрут (1–2–5–6) со значением меры эффективности:

$$\mu(r_{16}^{(3)}) = \frac{(C_{12} + C_{25} + C_{56})}{P_{12}P_{25}P_{56}} = 42.85.$$

Этому же маршруту в трехкритериальной задаче соответствует значение результирующего показателя, равное:

$$\mu(r_{16}^{(3)}) = \frac{(C_{12} + C_{25} + C_{56})(T_{12} + T_{25} + T_{56})}{P_{12}P_{25}P_{56}} =$$

$$= 1499.75,$$

что заметно хуже, чем значение $\mu(r_{16}^{(4)})$ из-за крайне плохого значения продолжительности T_{56} преодоления участка (5–6), включенного в оптимальный двухкритериальный маршрут.

Возможное направление дальнейших исследований связано с разработкой методов решения задачи отыскания оптимальных маршрутов в ситуации, когда исходная информация о числовых характеристиках маршрутов является неточной [12–16], или нечеткой [17–20].

Для решения задачи в этом случае могут быть использованы подходы, предложенные в [21, 22].

Выводы. Предложен метод отыскания эффективных компромиссных маршрутов при решении транспортных задач линейного программирования по совокупности критериев: средняя суммарная стоимость, продолжительность транспортировок и надежность выполнения плана перевозок.

Метод основан на разработанной технологии расчета аддитивной меры для оценки эффективности маршрутов, составленных из последовательности отдельных участков. Преимуществом данного метода является вычислительная процедура.

Данная процедура, для решения задачи, не требует применения трудоемкого комбинаторного перебора и обеспечивает возможность быстрого получения результата.

Рассмотрено несколько примеров отыскания оптимальных маршрутов в одно, двух, и трехкритериальных вариантах формулировки транспортных задач.

Список литературы

1. Интрилигатор М. *Математические методы оптимизации экономической теории*. Москва: Айрес–Пресс, 2002. 564 с.
2. Венцель Е. С. *Исследование операций*. Москва: Высшая школа, 2001. 208 с.
3. Кузнецов А. В., Сакович В. А., Холод Н. И. *Высшая математика. Математическое программирование*. Минск: Вышэйшая школа, 2001. 351 с.
4. Раскин Л. Г. *Анализ сложных систем и элементы теории оптимального управления*. Москва: Сов. радио, 1979. 344 с.
5. Раскин Л. Г. *Математические методы исследования операций и анализа сложных систем вооружения ПВО*. Харьков: ВИРТА, 1988. 177 с.
6. Раскин Л. Г., Серая О. В. *Нечеткая математика*. Харьков: Парус, 2008. 352 с.
7. Ehrgott M. *Multicriteria Optimizahion*. Springer, 2005. 323 p.
8. Steuer R. E. *Multiple Criteria Optimizahion*. New York: John Wiley, 1986. 546 p.
9. Серая О. В., Клименко Т. А., Самородов В. Б. Выбор критерия оптимизации в задаче управления многономенклатурными запасами. *Вестник Харьковского национального автомобильно-дорожного университета и Северо-Восточного научного центра Транспортной академии Украины: сб. науч. тр.* Харьков: ХНАДУ, 2009. Вып.45. С. 31–34.
10. Зубарев В. В., Ковтуненко А. П., Раскин Л. Г. *Математические методы оценки и прогнозирования технических показателей эксплуатационных свойств радиотехнических систем*. Киев: НАУ, 2005. 184 с.
11. Соболев И. М. *Выбор оптимальных параметров в задачах с многими критериями*. Москва: Дрофа, 2006. 175 с.
12. Pawlak Z. Roughsets. *Rough Sets. International Journal of Information and Computer Sciences*. 1982. Vol.11. No.5. P. 341–356.
13. Pawlak Z. Rough Sets approach to knowledge-based decision support. *European Journal of Operational Research*. 1997. Vol. 99. No.1. P. 48–57.

14. Slowinski R., Vanderpooten D. A generalized definition of rough approximations based on similarity. *IEEE Transactions on Knowledge and data Engineering*. 2000. Vol. 12. No. 2. P. 331–336.
15. Alefeld G., Herzberger J. *Introduction to Interval Computations*. New York: Academic Press, 1983. 352p.
16. Hansen E. *Global Optimization Using Interval Analysis*. New York: Marcel Dekker, 1992. 230 p.
17. Zadeh L. A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*. 1978. Vol.1. P. 3–28.
18. Kaufman A., Gupta M. *Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications*. New York: VN Reinhold, 1985. 334 p.
19. Дюбуа Д., Прад А. Теория возможностей. Приложения к представлению знаний в информатике. М.: Радио и связь, 1990. 286 p.
20. Liu B., Zhao B. *Stochastic Programming and Fuzzy Programming*. Beijing: Tsinghua University Press, 1998. 312 p.
21. Raskin L., Sira O. Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern–european journal of enterprise technologies*. 2016. Vol. 5, No. 4 (83). P. 23–28.
22. Raskin L., Sira O. Fuzzy models of rough mathematics. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 6, issue 4. P. 53–60.
10. Zubarev V. V., Kovtunencko A. P., Raskin. L. G. Matematicheskie metody otsenki i prognozirovaniya tehniceskikh pokazateley ekspluatatsionnykh svoystv radiotekhnicheskikh sistem [Mathematical methods estimation and forecasting technical indicators of operational properties of radio engineering systems]. Kiev, NAU Publ., 2005. 184 p.
11. Sobol I. M., *Vyibor optimalnykh parametrov v zadachah s mnogimi kriteriyami* [Choice of optimal parameters in tasks with many criteria]. Moscow, Drofa Publ., 2006. 175 p.
12. Pawlak Z. Rough sets. *International Journal of Information and Computer Sciences*. 1982, vol. 11, no. 5, p. 341–356.
13. Pawlak Z. Rough Sets approach to knowledge–based decision support. *European Journal of Operational Research*. 1997, vol. 99. no. 1, p. 48–57.
14. Slowinski R., Vanderpooten D. A generalized definition of rough approximations based on similarity. *IEEE Transactions on Knowledge and data Engineering*. 2000, vol. 12, no. 2, p. 331–336.
15. Alefeld G., Herzberger, J. *Introduction to Interval Computations*. New York, Academic Press Publ., 1983. 352 p.
16. Hansen E. *Global Optimization Using Interval Analysis*. New York, Marcel Dekker Publ., 1992. 230 p.
17. Zadeh L. A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*. 1978, vol. 1, p. 3–28.
18. Kaufman A., Gupta M. *Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications*. New York, VN Reinhold Publ., 1985. 334 p.
19. Dubois D., Prade H. *Possibility Theory: an Approach to Computerized Processing of Uncertainty*. New York, Plenum Press Publ., 1988. 263 p. (Rus. ed.: Dubois D., Prade H. *Teoriya vozmozhnostei. Priyozhenye k predstavleniyuznaniy v ynformatyke*. Moscow, Radyo i sviaz Publ., 1990. 286 p.).
20. Liu B., Zhao B. *Stochastic Programming and Fuzzy Programming*. Beijing, Tsinghua University Press Publ., 1998. 312 p.
21. Raskin L., Sira O. Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern–european journal of enterprise technologies*. 2016, vol 5, no. 4 (83), p. 23–28.
22. Raskin L., Sira O. Fuzzy models of rough mathematics. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*. 2016, vol. 6, issue 4, p. 53–60.

References (transliterated)

1. Intriligator M. *Matematicheskie metody optimizatsii ekonomicheskaya teoriya* [Mathematical optimization and economic theory]. Moscow, Airis–Press Publ., 2002. 564 p.
2. Ventcel E. S. *Issledovanie operatsiy* [Operations research]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 2001. 208 p.
3. Kuznetsov A. V., Sakovich V. A., Holod N. I. *Vysshaya matematika. Matematicheskoe programmirovaniye* [Higher mathematics. Mathematical Programming]. Minsk, Vyshhejsheja shkola Publ., 2001. 351 p.
4. Raskin L. G. *Analiz slozhnykh sistem i elementy teorii optimalnogo upravleniya* [Analysis of complex systems and elements of optimal control theory]. Moscow, Sovetskoe radio Publ., 1979. – 344 p.
5. Raskin L. G. *Matematicheskie metody issledovaniya operatsiy i analiza slozhnykh sistem vooruzheniya PVO* [Mathematical methods of investigation of operations and analysis of complex air defense systems]. Kharkov, WIRTA 1988. 177 p.
6. Raskin L. G., Sira O. V. *Nechetkaya matematika* [Fuzzy Mathematics]. Kharkov, Parus Publ., 2008. 352 p.
7. Ehrgott M. *Multicriteria Optimizahion*. Springer Publ., 2005. 323 p.
8. Steuer R. E. *Multiple Criteria Optimizahion*. New York, John Wiley Publ., 1986. 546 p.
9. Sira O. V., Klimeko T. A., Samorodov V. B. *Vyibor kriteriya optimizatsii v zadache upravleniya mnogonomenklaturnymi zapasami* [Selection of optimization criterion in the multi-

10. nomenclature inventory management problem]. *Vestnik Har'kovskogo nacional'nogo avtomobil'no-dorozhnogo universiteta i Severo-Vostochnogo nauchnogo centra Transportnoj akademii Ukrainy: sb. nauch. tr.* [Bulletin of the Kharkov National Automobile and Highway University and the North-Eastern Scientific Center of the Transport Academy of Ukraine: Sat. sci. tr.]. Kharkov, KhNADU Publ., 2009. Vol. 45. P. 31–34.
11. Sobol I. M., *Vyibor optimalnykh parametrov v zadachah s mnogimi kriteriyami* [Choice of optimal parameters in tasks with many criteria]. Moscow, Drofa Publ., 2006. 175 p.
12. Pawlak Z. Rough sets. *International Journal of Information and Computer Sciences*. 1982, vol. 11, no. 5, p. 341–356.
13. Pawlak Z. Rough Sets approach to knowledge–based decision support. *European Journal of Operational Research*. 1997, vol. 99. no. 1, p. 48–57.
14. Slowinski R., Vanderpooten D. A generalized definition of rough approximations based on similarity. *IEEE Transactions on Knowledge and data Engineering*. 2000, vol. 12, no. 2, p. 331–336.
15. Alefeld G., Herzberger, J. *Introduction to Interval Computations*. New York, Academic Press Publ., 1983. 352 p.
16. Hansen E. *Global Optimization Using Interval Analysis*. New York, Marcel Dekker Publ., 1992. 230 p.
17. Zadeh L. A. Fuzzy sets as a basis for a theory of possibility. *Fuzzy Sets and Systems*. 1978, vol. 1, p. 3–28.
18. Kaufman A., Gupta M. *Introduction to Fuzzy Arithmetic: Theory and Applications*. New York, VN Reinhold Publ., 1985. 334 p.
19. Dubois D., Prade H. *Possibility Theory: an Approach to Computerized Processing of Uncertainty*. New York, Plenum Press Publ., 1988. 263 p. (Rus. ed.: Dubois D., Prade H. *Teoriya vozmozhnostei. Priyozhenye k predstavleniyuznaniy v ynformatyke*. Moscow, Radyo i sviaz Publ., 1990. 286 p.).
20. Liu B., Zhao B. *Stochastic Programming and Fuzzy Programming*. Beijing, Tsinghua University Press Publ., 1998. 312 p.
21. Raskin L., Sira O. Method of solving fuzzy problems of mathematical programming. *Eastern–european journal of enterprise technologies*. 2016, vol 5, no. 4 (83), p. 23–28.
22. Raskin L., Sira O. Fuzzy models of rough mathematics. *Eastern–European Journal of Enterprise Technologies*. 2016, vol. 6, issue 4, p. 53–60.

Поступила (received) 05.02.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Раскін Лев Григорович (Раскин Лев Григорьевич, Raskin Lev) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» завідувач кафедри розподілених інформаційних систем і хмарних технологій; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9015-4016>; e-mail: topology@ukr.net;

Сіра Оксана Володимирівна (Серая Оксана Владимировна, Sira Oksana) – доктор технічних наук, професор, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри комп'ютерного моніторингу та логістики; м. Харків, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4869-2371>; e-mail: chime@bk.ru

Парфенюк Юрій Леонідович (Парфенюк Юрий Леонидович, Parfeniuk Yurii) – аспірант, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут»; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5357-1868>; e-mail: parfuriy.1@gmail.com

O. CHEREDNICHENKO, K. V. MELNYK, S. V. KIRKIN, D. V. SOKOLOV, O. M. MATVEIEV

DEVELOPMENT OF AGENT-ORIENTED SOFTWARE COMPONENTS TO RETRIEVE THE MARKETING INFORMATION FROM THE WEB

The article is devoted to researching the processes of extracting marketing information from the Web space. Conclusions are drawn on the need to introduce an information marketing system into modern business activities. A decision has been taken to develop software for the collection and analysis of marketing information. Identified and analyzed the main problems of collecting marketing information in the Web space. External systems for extracting and processing marketing information from the Web space were considered. During the analysis of the subject area, functional and non-functional requirements for the software being developed were formulated. Requirements for the selection of technologies for the development of an information system were defined. The analysis of software development technologies is carried out and the approach to the development of a software component is chosen. Such approaches to software development as: object-oriented programming, service-oriented architecture, component-oriented programming, agent-oriented programming were analyzed. A decision has been made to use the agent three-tier architecture in software development. The most commonly used programming languages in programming systems were: Java, KIF, KQML, AgentSpeak, April, TeleScript, Tcl / Tk, Oz. Analyzed such popular agent platforms and their functions as: JADE, Cougaar, ZEUS, Jason. For the development of software, the JADE platform was chosen, its classes, methods and interfaces were examined. The advantages and peculiarities of the SOLID principle are analyzed. In detail, the levels of the CLEAN architecture are examined. And also explained the possibilities of software implementation of this architecture. A software architecture was developed for the data collection system. In accordance with the requirements, a selection of software development tools has been made. It was decided to use the programming language Java, Spring Framework, GoF design pattern, the template Dependency Injection, SOLID and CLEAN architectural principles. A software component was developed for marketing information gathering systems, which allows to optimize this process. The limitations and ways to improve the software system are analyzed.

Keywords: architecture, JADE, marketing data, CLEAN, agent, program system, Java

О. Ю. ЧЕРЕДНИЧЕНКО, К. В. МЕЛЬНИК, С. В. КИРКИН, Д. В. СОКОЛОВ, О. М. МАТВЕЕВ РОЗРОБКА АГЕНТНО-ОРИЄНТОВАНИХ КОМПОНЕНТІВ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ДЛЯ ВИЛУЧЕННЯ МАРКЕТИНГОВОЇ ІНФОРМАЦІЇ З WEB

Статтю присвячено питанням дослідження процесів вилучення маркетингової інформації з Web-простору. Зроблено висновки про необхідність введення інформаційної маркетингової системи в сучасну підприємницьку діяльність. Прийнято рішення про розробку програмного забезпечення для збору та аналізу маркетингової інформації. Виявлено та проаналізовано основні проблеми збору маркетингової інформації у Web-просторі. Були розглянуті зовнішні системи по вилученню та обробці маркетингової інформації з Web-простору. В ході аналізу предметної області були сформульовані функціональні і нефункціональні вимоги до розроблюваного програмного забезпечення. Були визначені вимоги до вибору технологій для розробки інформаційної системи. Проведено аналіз технологій розробки програмного забезпечення та обрано підхід до розробки програмного компонента. Були проаналізовані такі підходи до розробки програмного забезпечення як: об'єктно-орієнтоване програмування, сервіс-орієнтована архітектура, компонентно-орієнтоване програмування, агентно-орієнтоване програмування. Прийнято рішення про використання агентної тривірневої архітектури в розробці програмного забезпечення. Були розглянуті найбільш часто використовувані в агентних системах мови програмування: Java, KIF, KQML, AgentSpeak, April, TeleScript, Tcl/Tk, Oz. Проаналізовано такі популярні агентні платформи і їх функції як: JADE, Cougaar, ZEUS, Jason. Для розробки програмного забезпечення була обрана платформа JADE, розглянуті її класи, методи і інтерфейси. Проаналізовано переваги та особливості принципу SOLID. В деталях розглянуті рівні архітектури CLEAN. А також зроблені пояснення можливостей програмної реалізації цієї архітектури. Була розроблена програмна архітектура для системи зі збору даних. Відповідно до вимог зроблений вибір інструментів розробки програмного продукту. Прийнято рішення про використання мови програмування Java, Spring Framework, GoF патерну проектування, шаблону Dependency Injection, SOLID і CLEAN архітектурних принципів. Був розроблений програмний компонент для систем збору маркетингової інформації, що дозволяє оптимізувати цей процес. Проаналізовано обмеження і шляхи поліпшення програмної системи

Ключові слова: архітектура, JADE, маркетингові дані, CLEAN, агент, програмна система, Java

О. Ю. ЧЕРЕДНИЧЕНКО, К. В. МЕЛЬНИК, С. В. КИРКИН, В. В. СОКОЛОВ, А. Н. МАТВЕЕВ РАЗРАБОТКА АГЕНТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ КОМПОНЕНТОВ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ МАРКЕТИНГОВОЙ ИНФОРМАЦИИ ИЗ WEB

Статья посвящена вопросам исследования процессов извлечения маркетинговой информации из Web-пространства. Сделаны выводы о необходимости введения информационной маркетинговой системы в современную предпринимательскую деятельность. Принято решение о разработке программного обеспечения для сбора и анализа маркетинговой информации. Выявлены и проанализированы основные проблемы сбора маркетинговой информации в Web-пространстве. Были рассмотрены внешние системы по извлечению и обработке маркетинговой информации из Web-пространства. В ходе анализа предметной области были сформулированы функциональные и нефункциональные требования к разрабатываемому программному обеспечению. Были определены требования к выбору технологий для разработки информационной системы. Проведен анализ технологий разработки программного обеспечения и выбран подход к разработке программного компонента. Были проанализированы такие подходы к разработке программного обеспечения как: объектно-ориентированное программирование, сервис-ориентированная архитектура, компонентно-ориентированное программирование, агентно-ориентированное программирование. Принято решение об использовании агентной трехуровневой архитектуры в разработке программного обеспечения. Были рассмотрены наиболее часто используемые в агентных системах языки программирования: Java, KIF, KQML, AgentSpeak, April, TeleScript, Tcl/Tk, Oz. Проанализированы такие популярные агентные платформы и их функции как: JADE, Cougaar, ZEUS, Jason. Для разработки программного обеспечения была выбрана платформа JADE, рассмотрены ее классы, методы и интерфейсы. Проанализированы преимущества и особенности принципа SOLID. В деталях рассмотрены уровни архитектуры CLEAN. А также сделаны пояснения возможности программной реализации этой архитектуры. Была разработана программная архитектура для системы по сбору данных. В соответствии с требованиями произведен выбор инструментов разработки программного продукта. Принято решение об использовании языка программирования Java, Spring Framework, GoF паттерна проектирования, шаблона Dependency Injection, SOLID и CLEAN архитектурных принципов. Был разработан программный компонент для систем сбора маркетинговой информации, позволяющий

оптимизировать этот процесс. Проанализированы ограничения и пути улучшения программной системы.

Ключевые слова: архитектура, JADE, маркетинговые данные, CLEAN, агент, программная система, Java

Introduction. Successful functioning of any company in the market environment can only be ensured only when accurate, complete and reliable information is available. Exactly such information help companies to determine the consumers` attitude towards the product and company, constantly monitor the environment, coordinate the strategy and evaluate the activity, increase the level of advertising work, support in the taken decisions, confirm their own commercial intuition, and increase the activity efficiency [1].

Information systems in one form or another have been used extensively and for a long time now to support marketing activities at enterprises. Nevertheless, the study of the structure and functionality of marketing information systems remains very relevant in connection with the rapid development of information technologies [2].

The external marketing information systems were considered in this work. This marketing systems class designed for regular collection of relevant information. The system of external information is focused on sources and methodical methods, by means of which it is possible to receive information about events and situations from the external marketing environment. The collection of external information involves the accumulation of various structured data:

- about the situation in different markets, especially those where the enterprise works or is going to work;
- forces that operate on the market (existing and potential competitors, consumers, contact audiences, etc.);
- state and trends of the development of macro-factors.

The result of this work is the development of components of the system for collecting, completing, checking the relevance and storage of marketing information about smartphones in real time.

Problem statement. Nowadays, marketing information is of great value. In addition, this value is constantly growing. On the one hand, such growth is due to the transition from local marketing, limited by the state boundaries, to global. On the other hand, with the development of markets and the improvement of

technologies, consumers get all the great opportunities in choosing the most satisfying their needs products and services. Modern information technologies help to solve these problems [3, 4].

The ultimate goal of the project is to develop a system for collecting smartphone models from the trading platform that are in high demand (top selling). The following requirements have to be taken into account:

- functionality should not depend on the trading platform;
- the assessment of sales takes place on the basis of the information available on the site of the trading platform;
- the system should have the ability to adapt, study or ability to select the algorithm for determining the top.

Figures 1-2 depict a functional requirements diagram in the IDEF-0 notation (context level diagram and its decomposition respectively).

It is known that the Web is a great repository of information and services of any direction and purpose. At the same time, such a feature hurts Web technologies.

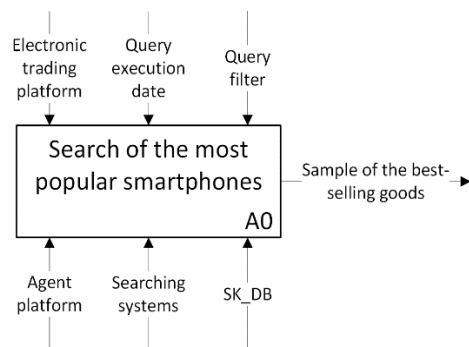


Fig. 1. IDEF0 context level diagram of the functional requirements

If you need to find the exact information, a large amount of time is spent for searching and viewing of a large number of Web-pages. Thus, the purpose of this work is to optimize the search of marketing information, by developing a software component for the system of marketing information collecting.

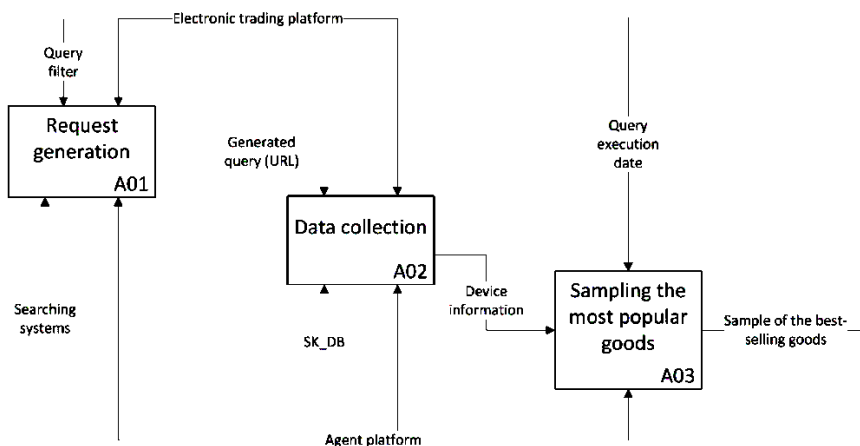


Fig. 2. IDEF0 decomposed diagram of the functional requirements

If you need to find the exact information, a large amount of time is spent for searching and viewing of a large number of Web-pages. Thus, the purpose of this work is to optimize the search of marketing information, by developing a software component for the system of marketing information collecting.

Determine of software development technology.

During the process of subject area analysis, functional requirements and limitations of the software system were selected. Consequently, the system requirements for the information system include the following ones:

- the ability to transfer;
- scalability;
- the ability to be modified;
- reliability;
- efficiency.

The above requirements determine the choice of technologies for information system implementation. Among the possible options were analyzed object-oriented (OOP), service-oriented (SOA), component-oriented (COP) and agent-oriented (AOP) programming paradigms (table 1).

It is proposed to use agent architecture when designing in this work. The agent is defined as a computer program that can reasonably act on behalf of the user (another program) to perform the task. Agents, like people, work together so that their aggregate can combine efforts to achieve the goal. As the agent platform (Agent Environment) is usually understood a set of application programming interfaces (API), which provides creation, life cycle, messaging, communication and access to

information and agents knowledge bases [5]. Agent platform is assigned functions of the agent environment.

It is worth noting that there are currently no programming languages or development tools that fully meet the needs for agents building. Such a system would have to meet such requirements: ensuring the migration of code to various platforms, availability on many platforms, support for network interaction, multithreading and other [6]. Most commonly in agent technologies used: universal programming languages (Java); “knowledge-oriented” languages, such as knowledge representation languages (KIF); negotiation and knowledge sharing languages (KQML, AgentSpeak, April), agent specifications languages; specialized programming languages for agents (TeleScript); scripting languages (Tcl/Tk); symbolic languages and logical programming languages (Oz) [6].

Today, there are numerous research groups and commercial entities that study agents technology and implement various agents and agent platforms. Due to various approaches to the research of the agent’s technology there was necessary to establish a unified standardization organization, the fund of intellectual standard agents.

There are many toolkits for designing MAC, and the most popular among them are agent platforms. The main functions of the agent platform are:

- an environment for the existence and interaction of agents;
- implement certain standards to ensure interoperability and compatibility with other platforms.

Table 2 shows the comparative characteristics of the most well-known agent platforms.

Table 1 – Comparison of implementation technologies

Selection criterion	OOP	SOA	COP	AOP
Main unit	Object	Service	Component	Agent
Degree of autonomy	Within its state due to encapsulation	Not autonomous	Partial autonomy	Complete autonomy and control of its own actions according to its purpose
Flexibility of behavior	Some degree of reactivity	Passive before the call	Some degree of reactivity	Reactivity and proactivity
Interaction with the environment	Limited possibilities	Limited possibilities	Ability to transfer	Mobility, transferability
Interaction with other software components	Mechanisms RPC, RMI	Mechanisms SOAP	Mechanisms of meta-object protocols	Communication on the basis of FIPA messaging
Suitability for solving intellectual problems	Limited possibilities	Limited possibilities	Limited possibilities	Due to the implementation of the model and the ability to study

Table 2 – Comparative characteristics of agent platforms

Comparison criterion	JADE	Cougaar	ZEUS	Jason
Programming language	Java	Java	Visual code generators	AgentSpeak
FIPA-compatibility	+	-	+	-
License for use	Not required	Not required	Required	Not required
Scope of application	Distributed systems that consist of many components	Distributed systems that consist of many components	Basis for writing rules and scenarios	Distributed systems that consist of many components

To implement the information system, the JADE platform is used. Architecture of the system platform JADE is shown in figure 3. The main advantages of this platform are the ability to integrate with other systems, support FIPA-2000 specification and free distribution [7]. The environment consists of two main parts: the actual FIPA-compatible agent platform and Java development agents. The JADE environment is written in Java and consists of Java library classes (packages) that provide application developers with ready functionality fragments and abstract interfaces. JADE comes with a suite of tools that simplify administration and development [8].

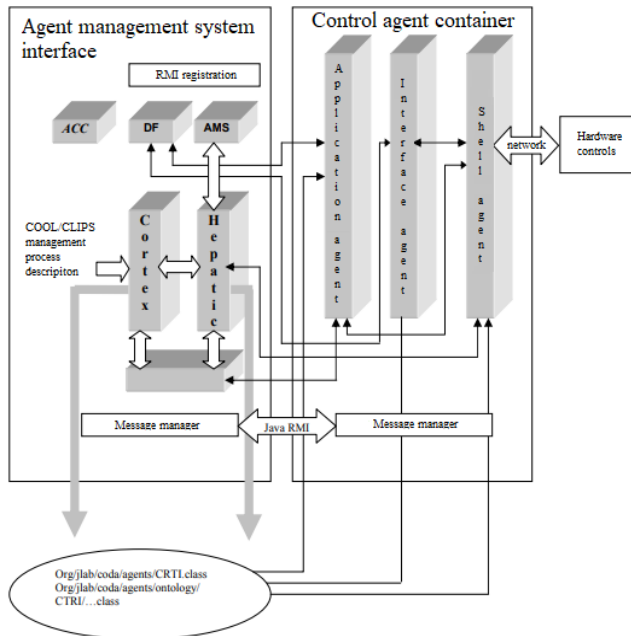


Fig. 3. Architecture of the agent platform JADE

The following main classes are used to create MAC: Agent and Behavior. The Agent class is a common base class for agents specified by the user. From the standpoint of the developer, the JADE agent is a typical instance of the Java class that extends the base class Agent. This implies the inheritance of properties for the implementation of the main interactions with the agent platform (registration, configuration, remote management, etc.) and the basic set of methods that can be called to implement the agent's behavior [8]. The agent's computing model is multitasking and parallel, in which the task (or behavior) is performed simultaneously. Each functionality and/or service provided by the agent must be implemented as one or more behaviors. An internal planner, hidden from the developer, automatically manages the planning of behavior.

The developer determines the agent's actions by specifying its behavior. An agent is able to perform several parallel tasks in response to various external events. In order to be effective in managing the agent, each JADE agent consists of a separate flow of execution and all its tasks (intentions) must be implemented as objects of the Behavior class [8]. The developer when assigning a task to the agent must determine one or more derived classes from the base class Behavior and add

some behavior to the list of its tasks. The Agent class provides two methods: `addBehaviour()` and `removeBehavior()`, which allow you to control the queue of the agent's tasks, namely add or remove behavior. The handling of the agent can be added whenever necessary, and not only within the `Agent.setup()` method. The scheduler, implemented by the main class Agent and "hidden" from the programmer, performs a cyclic planning policy among all behaviors that are available in execution queue. Behavior can be blocked, and the agent expects to receive a message [9].

Features of software implementation of the system. The Java programming language, Spring Framework, GoF designing patterns, Dependency Injection template, SOLID and CLEAN Architecture principles [10, 11] were used to develop the software system.

Spring Framework is an open source framework and a container with support of inversion management for the Java platform.

SOLID is an abbreviation of the first letters of the five basic principles of object-oriented programming and design proposed by Robert Martin:

1 The Single Responsibility Principle (SRP) is an important principle of object-oriented programming, which means that a class must be created to perform only one task that it must completely encapsulate. Consequently, all services in this class must be completely subordinated to its implementation. The result of this concept is that there is only one reason for changing the class, which makes it much "healthier" [11].

2 The Open/Closed Principle (OCP) principle is an important principle of object-oriented programming, which means that "program entities, such as classes, modules, functions, methods, etc. must be opened for expansion and closed for changes". This means that they can provide the ability to change their behavior without or with minimal code changes [10].

3 Liskov Substitution Principle (LSP) in object oriented programming is a special definition of a subtype proposed by Barbara Liskov in a 1987 conference in a report "Data abstraction and hierarchy." In the article, Liskov formulated the principle so: if S is a subtype of T, then objects of type S without any changes of the desired properties of this program can replace objects of type T in the program [16].

4 Principle of interface separation. This principle is similar to the principle of a single obligation. The application of this principle consists in the division of too "thick" interfaces into smaller and more specific ones, so that their clients know only those methods that are necessary for their work. As a result, when changing a certain functionality, those classes that do not use it should remain unchanged. That is, the implementation of this principle helps the system remain flexible when making changes to it and remain easy to refactor [12, 13].

5 Principle of dependencies inversion. The principle is formulated as following:

- higher-level modules should not depend on lower-level modules, both types of modules must depend on abstractions;

- abstractions should not depend on the details of the implementation, the details of the implementation must depend on the abstractions.

The dependencies inversion principle solves the problems of unsuccessful designing of programs [12].

On the basis of these principles, Robert Martin presented "The Clean Architecture", which consists of dividing the system into 3 levels:

1 Data layer – the level of data in its pure form, consisting of essences, which are the basic business rules of the system (this level can be both object with methods, and simple set of data structures and functions) [12]. The data layer will include POJOs and get data from cloud or local storage.

2 Domain layer – the level of the business logic of the application that is responsible for the main functionality of the system. Domain layer is responsible for interaction between data and presentation layers by means of interface and interactors. The objective is to make the domain layer independent of anything, so the business logic can be tested without any dependency to external components. Behavior of the domain layer and its` rules are related to a particular application [13].

3 Presentation layer – the level of the user interface, the display of data, the custom events processing (this level converts data from the previous level into a format that is adapted to display. Presentation layer will include normal activities and fragments, which will only handle rendering views and will follow MVP pattern.

The main advantages of this approach are:

- independence from frameworks and specific libraries;
- ease of testing – business rules can be tested separately, without a user interface, databases, etc.;
- user interface independence – the display can be changed without affecting other components of the system, which reduces the chances of potential errors;

- independence from the platform; business rules do not know where they will be used, and not tied to the features of a particular platform;

- database independence – the business logic of the application is not tied to a specific database, which makes it possible to change it at any time without affecting other components of the system.

The last advantage can be realized with the help of the template Repository. This approach is used to separate the logic that receives data, and transforms it into entity models for further work at the domain level. Dependency Injection template is used to use pure architecture and dependency inversion principle to ensure full control of system components. The work of the framework that provides work for such pattern is described by an application that, regardless of the execution, is executed within the dependencies inversion container provided by the framework. Some objects are still created in the usual way using the programming language, but the rest is provided by the container based on a predefined configuration. Thus, this approach makes it possible to substitute the dependencies of system objects using such container without the need of changing of other system components. Current design is component-independent platform and could be tested after each integration is provided. [14].

During the development process, it was concluded that the application of the micro-service architecture and the individual modules creation of the system as independent programs, the execution of which will be processed by the agent platform, that is, the agent behavior (Behavior) will contain the business logic of the individual component (service) of the system. Thus, with the help of aspect-oriented programming, implementation of methods and the processing of their results were provided to agents that use the ACL messaging environment to interact with the services. The system architecture with the use of individual layers is shown in figures 4, 5.

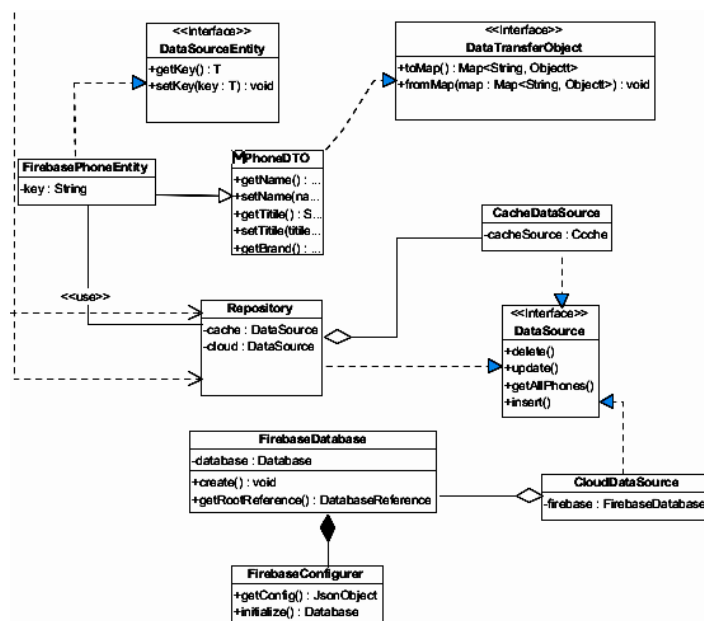


Fig. 4. Data layer

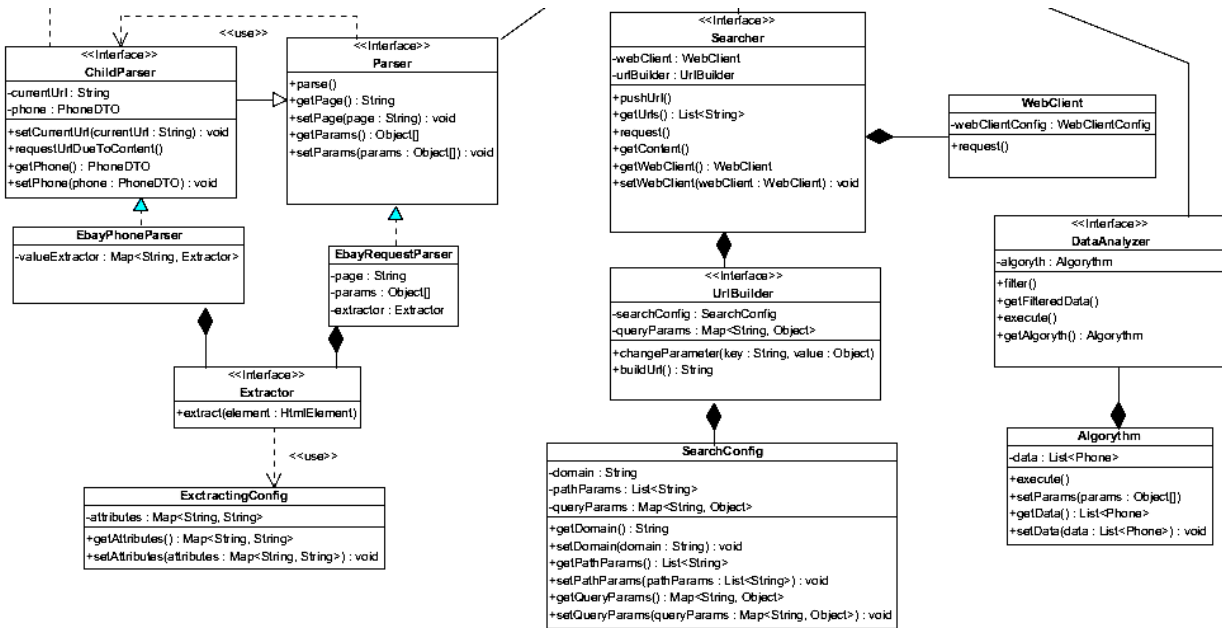


Fig. 5. Domain layer

In the general diagram, we can see that the designed system has 3 layers and 3 microservices, namely:

1 Data layer, which includes classes and data transfer objects interfaces, classes of essence representation of the non-relational database and a Repository design pattern, which consists of two data sources – the cache of the system and the non-relational database Google Firebase, which works with cloud storage services. The data layer contain workflow to manage data in datasource. To do that it is used repository pattern to make CRUD functions convenient and datasource-independent.

The simplest approach, especially with an existing system, is to create a new repository implementation for each business object needed to store or to retrieve data from persistence layer.

2 The domain application layer consists of four microservices:

- agent platform;
- data seeker;
- data analyzer;
- parser and data collector from web-pages.

Service “Agent platform” is responsible for system business process execution within the body of individual agents.

The “Data finder” service performs the process of locating the required goods in the trading venues by replacing the HTTP request parameters, configuration the filters, and transitioning to the data delivery pages.

The “Parser” service analyze an HTML document that is a response for HTTP request from a searcher and collects the necessary data from the product description page.

The “Data Analyzer” service is responsible for analyzing the sample collected by the parser, based on which the search parameters and stored products data will be reformed.

3 The presentation layer logic will be implemented on the client side of the system, namely on a mobile client based on the Android operating system using the MVP pattern (Model-View-Presenter). The connection between servers and clients is implemented with the help of the micro-service of the cloud-based storage Google Firebase Firestore, to which requests are performed both by servers and clients of the system. The layer was designed using micro-service approach to create test-flow for each component.

3 The presentation layer logic will be implemented on the client side of the system, namely on a mobile client based on the Android operating system using the MVP pattern (Model-View-Presenter). The connection between servers and clients is implemented with the help of the micro-service of the cloud-based storage Google Firebase Firestore, to which requests are performed both by servers and clients of the system. The layer was designed using micro-service approach to create test-flow for each component.

Presentation layer has 4 separate components such as:

- data searcher – a search can look for results inside a static local source;
- data analyzer – uses AI algorithms to analyze retrieved dataset and post the list of goods which have the biggest proposal;
- data extractor – uses JSOUP parsing component;
- agent platform – invokes main functional use-case of each components in separate agent.

Due to the fact that the system has a clear distribution on data representation layers and is distributed to separate microservices – the testing processes are not labor-consuming. System components obviously do not depend on each other, the input data can be replaced by

mock objects or by test data for integrating and unit testing.

Analysis and ways to improve the system. During the process of developing and testing the system, it was determined that the agent platform JADE has a list of shortcomings. The main drawbacks are:

1 Contradictory to the SOLID principles, namely the dependencies inversion principle, because the class Agent – depends on the behavior contained in the agent.

2 Using of outdated flow interactions tools. For each agent, a separate stream is created, which badly affects the performance of the system, cause streaming methods use a lot of resources.

3 Use of thread synchronization blocking algorithms. Due to the fact that ACL services use blocking of agents' flows to provide reliable information transfer and maintain the agents' status of performing parallel agents, it does not provide the required increase of performance.

4 An outdated and awkward API for agents launching. To run a single agent, the JADE agent environment uses the classes and the reflection package methods. These operations require a lot of computing power and do not have sufficient reliability.

From the above drawbacks, it was concluded that the system needs to replace the JADE agent platform with a more modern and accompanied agent platform.

Another way to improve the system is to implement a common mechanism for collecting and retrieving information on a separate trading platform using the own domain-specified programming language (DSL). This improvement can provide an increase in system scaling and reduce the cost of implementation of a new trading platform.

Conclusions. The introduction of a marketing informative system into modern entrepreneurial activity is an objective necessity determined by the essence of the information society. As you know, today, and in the near future, information is the main source of the formation of the competitiveness of enterprises or organizations for wealth in general. To stop the process of collecting and processing the information means to risk of the existence of a separate entity of the economic system, and therefore to condemn the troubles all those who depend on it.

The main goal of this work was to develop software for collecting and analyzing marketing information. During the writing the paper, the main problems of information gathering were identified and considered, an analysis of existing approaches and components for solving the problem was made.

During the process of studying the domain area, the main functional and non-functional requirements for the system under development were formed, and its reference system architecture was chosen. The choice of tools is justified in accordance with the requirements.

References

1. *Маркетингова інформація. Маркетингове дослідження*. URL: http://pidruchniki.com/12640422/marketing/marketingova_informat_siya_marketingovi_doslidzhennya (дата звернення 15.04.2018).
2. Карягін Ю. О., Тимошенко З. І. *Маркетинг продукту*. URL: http://tourlib.net/books_ukr/karyagin3-3.htm (дата звернення 15.04.2018).

3. *Маркетингова інформаційна система (МІС)*. URL: http://pidruchniki.com/1628041460643/marketing/marketingova_inf_ormatsiyna_sistema_mis (дата звернення 26.04.2018).
4. *Система збору зовнішньої маркетингової інформації*. URL: http://stud.com.ua/49872/marketing/sistema_zboru_zovnishnoyi_marketingovoyi_informatsiyi#41 (дата звернення 08.05.2018).
5. *Пошукові можливості web-систем*. URL: http://eprints.isoftware.kiev.ua/331/1/05_andon.pdf (дата звернення 08.05.2018).
6. *Методичні вказівки: Інтелектуальні агенти*. URL: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/2178/1/subbotin_methodical_instructions.pdf (дата звернення 08.05.2018).
7. *Дослідження логічних моделей семантики переговорів інтелектуальних агентів в мультиагентних системах*. URL: <http://science.donntu.edu.ua/ius/kirgaev/diss/indexu.htm> (дата звернення 08.05.2018).
8. *Об'єктно-орієнтоване програмування. Мова Java*. URL: http://www.dut.edu.ua/uploads/1_1216_25218115.pdf (дата звернення 18.05.2018).
9. Гонтар Ю. М., Чердніченко О. Ю., Янголенко О. В., Вовк М. А. Розробка розподіленої системи обробки бізнес-інформації з використанням агентного підходу. *Системи обробки інформації*. Харків: ХУПС, 2016. Вип. 4. С. 137–142.
10. Симоненко О. А., Сова О. Я., Романюк В. А., Уманець Я. Л. Аналіз існуючих агентних платформ для побудови систем управління вузлами мобільних радіомереж класу MANET. *Системи обробки інформації*. Харків: ХУПС, 2014. № 1 (117). С. 200–203.
11. *Spring Framework*. URL: https://wikivisually.com/lang-uk/wiki/spring_framework (дата звернення 18.05.2018).
12. Robert C. Martin. *Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design*. Prentice Hall, 2017. 432 p.
13. *The Clean Architecture*. URL: <https://8thlight.com/blog/uncle-bob/2012/08/13/the-clean-architecture.html> (дата звернення 18.05.2018).
14. Robert C. Martin. *Summary of book "Clean Architecture"*. URL: <https://gist.github.com/ygrenzinger/14812a56b9221c9feca0b3621518635b> (дата звернення 18.05.2018).

References (transliterated)

1. *Marketingova informatsiya. Marketinghove doslidzhennya* [Marketing information. Marketing research]. Available at: http://pidruchniki.com/12640422/marketing/marketingova_informat_siya_marketingovi_doslidzhennya (accessed 15.04.2018).
2. Karyagin Y. O., Tymoshenko Z. I. *Marketing produktu* [Product Marketing]. Available at: http://tourlib.net/books_ukr/karyagin3-3.htm (accessed 15.04.2018).
3. *Marketingova informatsiyna sistema (MIS)* [Marketing Information System (MIS)]. Available at: http://pidruchniki.com/1628041460643/marketing/marketingova_inf_ormatsiyna_sistema_mis (accessed 26.04.2018).
4. *Systema zboru zovnishnoyi marketingovoyi informatsiyi* [System of collection of external marketing information]. Available at: http://stud.com.ua/49872/marketing/sistema_zboru_zovnishnoyi_marketingovoyi_informatsiyi#41 (accessed 08.05.2018).
5. *Poshukovi mozhlyvosti web-cystem* [Searching capabilities of web-systems]. Available at: http://eprints.isoftware.kiev.ua/331/1/05_andon.pdf (accessed 08.05.2018).
6. *Metodychni vkazivky: Intelktualni agenty* [Guidance: Intelligent agents]. Available at: http://eir.zntu.edu.ua/bitstream/123456789/2178/1/subbotin_methodical_instructions.pdf (accessed 08.05.2018).
7. *Doslidzhennya lohichnyh modeley semantyky perehovoriv intelektualnyh ahentiv v multyahentnyh systemah* [Research of logical semantics negotiations models of intellectual agents in multiagent systems]. Available at: <http://science.donntu.edu.ua/ius/kirgaev/diss/indexu.htm> (accessed 08.05.2018).
8. *Ob'yektno-oriyentovane prohramuvannya. Mova Java* [Object oriented programming. Java language]. Available at: http://www.dut.edu.ua/uploads/1_1216_25218115.pdf (accessed 18.05.2018).
9. Hontar Y. M., Cherednichenko O. Y., Yanholenko O. V., Vovk M. A. Rozrobka rozpodilenoj systemy obrobky biznes-

- informatsiyi z vykorystanniam ahentnoho pidkhodu [Development of a distributed business information processing system using the agent approach]. *Systemy obrobky informatsiyi* [Information processing systems]. Kharkiv, KhUPS Publ., 2016, issue 4, pp. 137–142.
10. Symonenko O. A., Sova O. Y., Romanyuk V. A., Umanets' Ya. L. Analiz isnuuyuchykh ahentnykh platform dlya pobudovy system upravlinnya vuzlamy mobil'nykh radiomerezh klasu manet [Analysis of the existing agent platforms for building management systems mobile radio nodes class MANET] *Systemy obrobky informatsiyi* [Information processing systems]. Kharkiv, KhUPS Publ., 2014, no. 1 (117), pp. 200–203.
11. *Spring Framework*. Available at: https://wikivisually.com/lang-uk/wiki/spring_framework (accessed 18.05.2018).
12. Robert C. Martin. *Clean Architecture: A Craftsman's Guide to Software Structure and Design*. Prentice Hall, 2017. 432 p.
13. *The Clean Architecture*. Available at: <https://8thlight.com/blog/uncle-bob/2012/08/13/the-clean-architecture.html> (accessed 18.05.2018).
14. Robert C. Martin. *Summary of book "Clean Architecture"*. Available at: <https://gist.github.com/ygrenzinger/14812a56b9221c9feca0b3621518635b> (accessed 18.05.2018).

Received 23.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Чередніченко Ольга Юрївна (Чередниченко Ольга Юрьевна, Cherednichenko Olga Yuryevna) – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», доцент кафедри Програмної інженерії та інформаційних технологій управління; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9391-5220>; e-mail: olha.cherednichenko@gmail.com

Мельник Каріна Володимирівна (Мельник Карина Владимировна, Melnyk Karina Vladimirovna) – кандидат технічних наук, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», старший викладач кафедри Програмної інженерії та інформаційних технологій управління; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9642-5414>; e-mail: karina.v.melnyk@gmail.com

Кіркін Станіслав Васильович (Киркин Станислав Васильевич, Kirkin Stanislav Vasylevich) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8721-4161>; e-mail: skirkin@ukr.net

Соколов Дмитро Віталійович (Соколов Дмитрий Витальевич, Sokolov Dmitry Vitalevich) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4572-9500>; e-mail: dimitreuzsokolov@gmail.com

Матвєєв Олександр Миколайович (Матвеев Александр Николаевич, Matveev Alexander Nikolaevich) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5907-3771>; e-mail: matwey1970@gmail.com

УДК 004.5

I. О. ЗОЛОТАРЬОВА, Г. О. ПЛЕХАНОВА, О. Б. ПЛОХА**CASE STUDY: РОЗРОБКА КОНЦЕПЦІЇ КОРПОРАТИВНОГО WEB-ПОРТАЛУ БАНКУ «CREDIT AGRICOLE»**

Розглядаються підходи до розробки концепції корпоративного веб-порталу міжнародного банку. Будь-якій компанії (підприємству) необхідний інформаційний супровід своїх бізнес-процесів, а також інформаційна взаємодія у режимі online як усередині підприємства, так і із зовнішнім середовищем. Зі зростанням кількості співробітників і джерел корпоративної інформації стає все складніше реалізувати внутрішні комунікації. Виникає потреба в єдиному інформаційному середовищі та оптимізації спільної роботи з інформацією й документами. Із цього погляду, портал – це один з потужних інструментів управління бізнесом компанії. Подані характеристики корпоративного інформаційного порталу в різних аспектах його функціонування як системи. Виділено три основні функціональні шари у складі типового корпоративного порталу, такі як шар базової інфраструктури, відповідальний за базові сервіси, шар інтеграції додатків, відповідальний за взаємодію порталу з усіма існуючими в компанії додатками (СКБД, CRM, ERP та ін.), шар інтерфейсів, що включає в себе засоби управління інформаційним наповненням, інтерфейси для обміну даними з інформаційними системами бізнес-партнерів, засоби для роботи з мобільним й бездротовим обладнанням та ін. Розглянуто концептуальні вимоги до корпоративного інформаційного порталу. Проведений аналіз характеристик корпоративного інформаційного порталу. Проаналізовано призначення порталу. Розроблені вимоги, діаграма варіантів використання, макети порталу. Виділені основні групи користувачів корпоративного інформаційного порталу. Застосовані UML діаграми варіантів використання для опису користувачів та зв'язків між ними. Для кожного варіанта використання описаний сценарій його виконання, короткий опис, передумови, основний потік подій, альтернативний потік подій, постумови. Розглянуто крос-платформний сервіс Figma для дизайнерів, який дозволяє декільком людям в режимі реального часу працювати над одним і тим же проектом.

Ключові слова: веб портал, вимоги, UML діаграми, діаграма варіантів використання, дійові особи, макет, корпоративний портал, інтерфейс, інфраструктура, інформаційна система.

I. А. ЗОЛОТАРЕВА, А. О. ПЛЕХАНОВА, О. Б. ПЛОХАЯ**CASE STUDY: РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ КОРПОРАТИВНОГО WEB-ПОРТАЛА БАНКА «CREDIT AGRICOLE»**

Рассматриваются подходы к разработке концепции корпоративного веб-портала международного банка. Любой компании (предприятию) необходимо информационное сопровождение своих бизнес-процессов, а также информационное взаимодействие в режиме online как внутри предприятия, так и с внешней средой. С ростом количества сотрудников и источников корпоративной информации становится все сложнее реализовать внутренние коммуникации. Возникает потребность в едином информационном пространстве и оптимизации совместной работы с информацией и документами. С этой точки зрения, портал – это один из мощных инструментов управления бизнесом компании. Представлены характеристики корпоративного информационного портала в различных аспектах его функционирования как системы. Выделены три основных функциональных слоя в составе типичного корпоративного портала, таких как слой базовой инфраструктуры, отвечающий за базовые сервисы, слой интеграции приложений, отвечающий за взаимодействие портала со всеми существующими в компании приложениями (СУБД, CRM, ERP и др.), слой интерфейсов, который включает в себя средства управления информационным наполнением, интерфейсы для обмена данными с информационными системами бизнес-партнеров, средства для работы с мобильными и беспроводными устройствами и др. Рассмотрены концептуальные требования к корпоративному информационному portalу. Проведен анализ характеристик корпоративного информационного портала. Проанализировано назначение портала. Разработаны требования, диаграмма вариантов использования, макеты портала. Выделены основные группы пользователей корпоративного информационный портал. Использованы UML диаграммы вариантов использования для описания пользователей портала и связей между ними. Для каждого варианта использования описан сценарий его выполнения, краткое описание, предусловия, основной поток событий, альтернативный поток событий, постусловия. Рассмотрен кросс-платформенный сервис Figma для дизайнеров, который позволяет нескольким людям в режиме реального времени работать над одним и тем же проектом.

Ключевые слова: веб портал, требования, UML диаграммы, диаграмма вариантов использования, действующие лица, макет, корпоративный портал, интерфейс, инфраструктура, информационная система.

I. O. ZOLOTARYOVA, G. O. PLEKHANOVA, O. B. PLOKHA**CASE STUDY: DEVELOPMENT OF THE CONCEPT OF CORPORATE WEB-SITE OF THE BANK "CREDIT AGRICOLE"**

Approaches to the development of the concept of a corporate web portal of an international bank are considered. Any company (enterprise) needs information support of its business processes, as well as information interaction in online mode both within the enterprise and with the external environment. With the growing number of employees and sources of corporate information, it becomes increasingly difficult to implement internal communications. There is a need for a single information space and optimization of joint work with information and documents. From this point of view, the portal is one of the powerful tools of business management of the company. The characteristics of the corporate information portal in various aspects of its functioning as a system are described. There are three main functional layers in the typical corporate portal, such as the basic infrastructure layer, responsible for basic services, the layer of application integration, responsible for the interaction of the portal with all existing company applications (DBMS, CRM, ERP, etc.), the layer of interfaces, which includes information content management tools, interfaces for data exchange with information systems of business partners, tools for working with mobile and wireless equipment, etc. Conceptual requirements to the corporate information portal are considered. The analysis of the characteristics of the corporate information portal is carried out. The purpose of the portal is analyzed. Requirements, a diagram of use cases, portal mockups are developed. UML diagrams of use cases are used to describe portal users and the relationships between them. For each use case scenario, it describes its implementation, a brief description, preconditions, the main stream of events, an alternate flow of events, post-conditions. Cross-platform service Figma for designers, which allows several people in real time to work on the same project, is considered.

Keywords: web portal, requirements, UML diagrams, use case diagram, actors, mockup, corporate portal, interface, infrastructure, information system.

Вступ. Бізнес постійно шукає та реалізує нові можливості використання Інтернет-технологій для підвищення ефективності управління бізнес-діяльністю.

Портал – це мережний вузол або комплекс вузлів, підключених до Інтернету по високошвидкісних каналах зв'язку, що володіє розвиненим користувальницьким інтерфейсом, який надає з концептуальної та змістовної точки зору єдиний доступ до широкого спектра інформаційних ресурсів і послуг, орієнтованих на певну аудиторію. З технологічної точки зору портал – системне багаторівневе об'єднання ресурсів і сервісів в Інтернеті, або система сайтів, що працюють на основі єдиної бази даних та єдиних стандартів обміну інформацією [1, 2, 3].

Зі зростанням кількості співробітників і джерел корпоративної інформації стає все складніше реалізувати внутрішні комунікації. Виникає потреба в єдиному інформаційному середовищі та оптимізації спільної роботи з інформацією й документами. Із цього погляду, портал – це один з потужних інструментів управління бізнесом компанії.

Будь-якій компанії (підприємству) необхідний інформаційний супровід своїх бізнес-процесів, а також інформаційна взаємодія у режимі online як усередині підприємства, так і із зовнішнім середовищем.

Мета роботи. Робота виконана за реальним кейсом міжнародного банку «CREDIT AGRICOLE». На теперішній час територіальна рознесеність філій банку, велика кількість співробітників, керуючі центри в декількох областях України призводять до порушень комунікацій на всіх рівнях управлінської діяльності банку. Мета полягала в розробці та представленні концепції внутрішньокорпоративного порталу для 2000 співробітників банку по всій Україні та в тому, щоб надати конструктивні та обгрунтовані пропозиції щодо функціоналу, структури, особливостей, завдань та можливостей порталу.

Вступ. Потреба об'єднання співробітників, розділених сотнями і тисячами кілометрів, проведення єдиної управлінської політики і підтримки корпоративних цінностей, включення кожного співробітника в життя банку, організація взаємодії географічно рознесених робочих груп, створення і збереження бази знань для всіх рівнів та груп управління привели до розуміння необхідності створення єдиного інформаційного простору банку «Credit Agricole».

Приватне Акціонерне Товариство (ПАТ) «Credit Agricole» – універсальний банк, власником якого є одна з найбільших фінансових груп Європи – Credit Agricole Group (Франція). Банк працює на фінансовому ринку України з 1993 року і надає повний спектр сучасних банківських послуг корпоративним і приватним клієнтам. Відповідно до класифікації НБУ, «Credit Agricole» входить до групи великих банків.

Регіональна мережа банку охоплює всі регіони України і налічує близько 160 точок продажів.

Основні завдання дослідження були сформульовані виходячи з наступного посилання –

потрібен єдиний веб-організований простір з керованими правами доступу, що дозволяє:

- оперативно публікувати і доводити до відома всіх співробітників нормативні документи по роботі банку, наказів, розпоряджень і т. і.;
- вести єдине сховище документів і базу знань;
- створити єдину базу всіх співробітників банку з їх даними, телефонні та інші довідники, керовану візуальну структуру діяльності банку;
- реалізувати управління групами з будь-яким числом співробітників.

Характеристики корпоративного інформаційного порталу. Портал – це мережний вузол або комплекс вузлів, підключених до Інтернету по високошвидкісних каналах зв'язку, що володіє розвиненим користувальницьким інтерфейсом, який надає з концептуальної та змістовної точки зору єдиний доступ до широкого спектра інформаційних ресурсів і послуг, орієнтованих на певну аудиторію. З технологічної точки зору портал – системне багаторівневе об'єднання ресурсів і сервісів в Інтернеті, або система сайтів, що працюють на основі єдиної бази даних та єдиних стандартів обміну інформацією.

Корпоративний інформаційний портал становить внутрішній сайт компанії (підприємства). Це особливий клас інформаційної системи, побудованої на основі Web-технологій, яка виступає в ролі єдиної точки доступу до всієї внутрішньої інформації й сервісам підприємства на основі персоналізації користувачів за допомогою будь-якого пристрою, підключеного до Internet.

Концепція корпоративного інформаційного порталу (Enterprise Information Portal, EIP) була сформульована аналітиками Delphi Group у 1999 р.: EIP – це Web-орієнтований засіб доступу до різноманітних структурованих і неструктурованих даних на підприємстві та поза ним, а також аналізу й обробки отриманої інформації [1, 4]. На їх думку, повне рішення EIP повинне включати дев'ять основних функцій:

- інтеграція додатків і даних: забезпечення можливості взаємодії співробітників підприємства через єдиний інтерфейс із усіма додатками та інформаційними ресурсами, використовуваними на підприємстві (відповідно до встановлених для них прав);
- категоризація: упорядкування даних для зручності навігації по інформаційних ресурсах. В основі автоматизовані процедури категоризації результатів індивідуального пошуку;
- повнота і релевантність пошуку: реалізація ефективних пошукових механізмів за численними джерелами даних (структуровані та неструктуровані дані, метадані); перегляд усіх ресурсів, які можуть включати потрібні дані; оцінка вірогідності та корисності отриманої інформації;

- публікація і поширення: можливість опублікувати користувальницьку інформацію, надавши до неї загальнокорпоративний доступ;
- управління бізнес-процесами: користувачі повинні мати можливість не тільки стежити за ходом виконання ділових процесів, але також ініціювати ці процеси й брати активну участь у них;
- колективна робота: забезпечення режиму командної роботи як у традиційному варіанті «співробітник-співробітник», так і в режимах «співробітник-партнер» і «співробітник-клієнт»;
- персоналізація робочого простору: формування віртуального середовища роботи співробітника з урахуванням його персональних потреб, звичок, власних методів роботи;
- представлення інформації: інтеграція всіх елементів інформаційних ресурсів у зрозумілому та логічному виді;
- зворотний зв'язок і розвиток: портал повинен забезпечувати доступ до інформаційних ресурсів підприємства не тільки для співробітників, але й для зовнішніх суб'єктів (партнерів, клієнтів). Відгук на потреби та побажання всіх користувачів порталу – обов'язкова умова для забезпечення конкурентоспроможності будь-якого підприємства.

У табл. 1 подані характеристики корпоративного інформаційного порталу в різних аспектах його функціонування як системи.

Корпоративний інформаційний портал як система повинен мати «на вході» прості засоби, що розвиваються, що настраюються, для маніпуляцій зі службовою та професійною інформацією, а «на виході» – безліч тематично згрупованих інформаційних ресурсів і сервісів, орієнтованих на різні інформаційні потреби основних груп користувачів. Користувачами порталу можуть бути: співробітники підприємства й різні зовнішні користувачі. Залежно від цього необхідно надавати права доступу [5, 6, 7].

Корпоративний портал має становити сучасну гнучку адаптивну інформаційну систему, яка буде орієнтована на інформаційні потреби його користува-

чів. Набір можливостей порталу дозволить створити якісно нові умови для роботи співробітників і підрозділів компанії. Нові засоби управління даними дозволять поліпшити реалізацію презентаційних завдань порталу. Архітектура порталу повинна містити засоби інтеграції із зовнішніми інформаційними системами в тих випадках, де це доцільно.

Призначення корпоративного порталу:

а) надання зовнішнім і внутрішнім користувачам персоналізованого доступу до всіх корпоративних даних і додатків, включаючи неструктуровані й різно-рідні дані. Для цього в порталі забезпечується:

- єдине місце зберігання корпоративної інформації, створеної та накопиченої користувачами;
- засоби комунікації між користувачами системи в умовах територіальної розподіленості;
- персональне налагоджування робочого місця кожного користувача на основі єдності засобів роботи з різними видами інформації;
- управління правами користувачів з деталізацією доступу на рівні даних і функцій;
- єдина класифікація інформаційних ресурсів компанії;

б) об'єднання ізольованих моделей бізнесу;

в) інтеграція різноманітних корпоративних бізнес-додатків, у тому числі додатків бізнес-партнерів;

г) забезпечення повноцінного цілодобового доступу всіх користувачів, у тому числі мобільних, до інформаційних ресурсів підприємства 24 години на добу, незалежно від місця перебування [8, 9].

Економічні та організаційні ефекти від упровадження корпоративного порталу зв'язані, у першу чергу, з такими аспектами [10, 11]:

1) підвищення продуктивності. Співробітники щодня одержують інформацію з різних джерел, таких, як корпоративні інформаційні системи, періодичні друковані видання, внутрішні нормативні документи, ділове листування, електронна пошта, технічна документація і ресурси мережі Інтернет. Використовуючи корпоративний портал, фахівці можуть отримувати необхідну інформацію в гранично стислий термін безпосередньо зі свого робочого місця, незалежно від його географічного розташування й часу доби. вико-

Таблиця 1 – Характеристики корпоративного інформаційного порталу

Аспект функціонування порталу як системи	Характеристика
Управління підприємством	Інтегрована система управління розподіленими інформаційними ресурсами та система інформаційного супроводу всієї бізнес-діяльності підприємства
Реалізація основної діяльності	Нова концепція організації робочих місць співробітників із доступом до всієї інформації, необхідної для виконання ними запропонованих бізнес-функцій
Системний підхід	Системна багаторівнева сукупність різних інформаційних ресурсів і сервісів підприємства, що інтегрує різні джерела даних та окремі функціональні ІС, з єдиною точкою входу та уніфікованими правилами представлення та обробки інформації
Технологія реалізації	Сервер додатків, який може запускати стандартні порталні компоненти, гарантує надійність і масштабованість системи й контролює права доступу
Візуалізація інформації	Це відображаюча частина інформаційної системи, що забезпечує користувачів єдиним авторизованим персоналізованим доступом до внутрішніх і зовнішніх інформаційних ресурсів і бізнес-додатків

ристання сучасних інформаційних технологій дозволяє організувати цільову доставку інформації й своєчасне оповіщення її одержувачів, забезпечивши при цьому необхідний рівень конфіденційності;

2) поліпшення корпоративної взаємодії. Портал відіграє роль центрального інформаційного ресурсу для керівництва й співробітників компанії, її замовників, постачальників, дистриб'юторів, партнерів і акціонерів. Оперативний обмін необхідною інформацією забезпечує більш тісний зв'язок між усіма групами співробітників і підрозділами;

3) управління корпоративними знаннями. Використання корпоративного порталу дозволяє повною мірою застосувати технологію управління знаннями (Knowledge Management), яка в усьому світі визнана найбільш ефективною формою взаємодії співробітників [3, 12]. Будь-який співробітник досить легко може знайти та використовувати різні звіти, зведення, статті, бібліографічні довідники, новини, методики, регламенти, аналітичні огляди та дослідження незалежно від того, де й ким вони були створені. Накопичення й сортування всієї цієї інформації дозволить створити та використовувати базу знань компанії, що охоплює більшу частину корпоративної інформації;

4) оптимізація процесу управління. Інтеграція корпоративного порталу з іншими компонентами інформаційної системи підприємства (фінансово-облікові й збутові програми, сховища даних, електронний документообіг і т. п.) відкриває нові можливості аналізу ділової інформації, сегментування ринку та позиціонування, планування й прогнозування, виконання ряду інших функцій. Відповідно, менеджери можуть ухвалювати більш ефективні рішення, що враховують усі нюанси конкретної ситуації.

5) оптимізація інвестицій в інформаційні ресурси. Портал – це інтегрований додаток, який можна досить швидко впровадити і легко підтримувати, затрачаючи при цьому порівняно невеликі ресурси в порівнянні із системами з подібними функціями, але побудованими на основі інших концепцій. Усе це знижує витрати й підвищує віддачу від вкладень в інформаційну систему підприємства. Використання для візуалізації інформації «тонкого клієнта» дозволяє заощаджувати на навчанні персоналу і, одночасно, дає можливість не встановлювати клієнтські додатки на комп'ютерах користувачів. Скорочення витрат на придбання та обслуговування клієнтського програмного забезпечення (ПЗ) і обладнання – один з основних джерел зниження витрат при використанні корпоративного порталу. Також важливо згадати про мінімізацію витрат на оренду Інтернет-каналу за рахунок того, що найбільш значна частина інформації, необхідна для користувачів порталу, розміщується в корпоративній мережі;

6) єдина платформа для ведення електронного бізнесу. Упровадження корпоративного порталу та забезпечення доступу до нього зовнішніх користувачів сприяє зміцненню ділових зв'язків із замовниками, партнерами, постачальниками й підвищує якість обслуговування замовників і партнерів за рахунок надання їм додаткових можливостей та послуг.

Доступ до корпоративного порталу може бути організований для декількох груп користувачів:

- керівники за допомогою порталу отримують інструмент контролю над ключовими параметрами діяльності компанії;
- співробітники отримують інтегровану внутрішню й зовнішню інформацію і доступ до корпоративних додатків.

Слід підкреслити, що розвиток порталу становить динамічний процес, який нерозривно пов'язаний із процесом формалізації інформаційних потоків підприємства. Відповідно, віддача від інформаційного порталу буде збільшуватися в міру зростання його функціонального наповнення.

Корпоративний портал – продукт або набір продуктів, що базується на певній інфраструктурі, що звичайно включає як мінімум сервер додатків і сервер баз даних і що реалізує описані вище функції.

У складі типового корпоративного порталу умовно можна виділити три основні функціональні шари:

Шар базової інфраструктури, відповідальний за базові сервіси, такі, як управління транзакціями, система безпеки, управління порталом та ін. Технічно він містить, як правило, сервер додатків, сервер баз даних і Web-сервер, або кілька подібних серверів.

Шар інтеграції додатків, відповідальний за взаємодію порталу з усіма існуючими в компанії додатками, такими, як системи керування базами даних (СКБД), системи управління взаємодією з клієнтами (CRM) і системи управління підприємствами (ERP), а також успадковані додатки та ін.

Шар інтерфейсів, що включає в себе засоби управління інформаційним наповненням, інтерфейси для обміну даними з інформаційними системами бізнес-партнерів, засоби для роботи з мобільними й бездротовими обладнаннями та ін.

Як правило, портали мають відкриту архітектуру, що дозволяє розширювати їх функціональність за рахунок додавання сторонніх додатків або додаткових компонентів.

Функціональні компоненти порталу представлені на рис. 1.



Рис. 1. Структура типового корпоративного інформаційного порталу

Портал будується на базі Web-технологій. У його основі лежить ядро, що забезпечує роботу всіх сервісів і інтеграцію даних та додатків: служби порталу, адаптери, інформаційні засоби, портальні додатки і профільні сервіси. Користувальницькі функції реалізуються за допомогою спеціалізованих програмних модулів – портлетів.

До служб порталу відносяться як користувальницькі служби, що забезпечують адміністрування, конфіденційність користувача та персоналізацію, так і базові сервісні служби. Вони забезпечують:

- пошук (як контекстний, так і атрибутивний, як за загальною масою ресурсів, так і за сукупністю ресурсів), навігацію (каталоги, карта порталу, путівник по ресурсах);
- подієвий сервіс (новини, анонси, календар, архіви подій, літописи);
- довідковий сервіс (довідкові системи, мікро- і експрес-навчання, енциклопедія порталу);
- систему спеціалізованих оглядів (преси, публікацій, періодичних видань, тематичні огляди і т. п.).

Адаптери порталу забезпечують можливість одержання інформації, посилаючись на інший ресурс (сайт, сторінку) і містять у собі:

- інформаційні адаптери;
 - адаптери додатків;
 - засоби взаємодії адаптерів;
 - перевстановлені адаптери (бібліотеку портлетів);
 - підтримку XML і web-служб.
- Інформаційні засоби порталу забезпечують:
- зберігання даних;
 - роботу з інформаційною базою порталу, метаінформацією (служби підтримки метаданих, довідники метаданих);
 - управління базами даних, публікаціями й контентом;
 - авторське управління даними.

Портальні додатки та профільні сервіси включають бізнес-додатки корпоративної ІС і зовнішніх ІС, ановані посилання на ресурси в мережі Інтернет, які не є компонентами порталу.

Функціонування порталу забезпечується портальними засобами.

Засоби інтеграції орієнтовані на створення інтегрованих портальних середовищ. Забезпечують інтеграцію баз даних, метаданих (імпорт, експорт, координація), узагальнених пошукових процедур, інтеграцію систем безпеки, додатків, подієвих і довідкових систем і т. д.

Засоби управління порталом забезпечують адміністрування порталу, управління продуктивністю, тестування компонентів, цілісність інформації та безпеку порталу, ведення статистики, засобу кешування і т. п.

Засоби комунікації забезпечують діяльність мобільних користувачів (war-, sms-, голосові інтерфейси) і взаємодію користувачів у процесі групової роботи (списки розсилання, форуми, відеоконферен-

ції), а також широкий набір інструментів здійснення комунікацій. До них відносяться:

- інструменти для вертикальних комунікацій (адміністративні накази, кадрові накази, структура підприємства, правила та інструкції, вакансії, опитування);
- інструменти для горизонтальних комунікацій (календар заходів, довідник співробітників, іменинники, форум для неформального спілкування).

Засоби розвитку порталу забезпечують дії розроблювачів усіх категорій у процесі розвитку і модернізації порталу, а також створення нових компонентів порталу.

Оскільки спочатку портали представлялися простою колекцією статичного контенту, і це представлення зафіксувалося в свідомості, звідси впливає загальна недооцінка складності й вартості завдань, які мають вирішуватися в процесі експлуатації порталу протягом усього його життєвого циклу. Насправді виникає необхідність управляти життєвим циклом. Управління статичною інформацією не вимагає значних витрат, але сучасні портали мають справу з онлайн-додатками, їх логічна складність порівнянна зі складністю самого підприємства. З появою нових технологій сучасні системи для управління бізнесом знаходять усе більшу подібність із класичними системами автоматичного регулювання, які вже багато часу використовуються в технологічному управлінні.

Портал зобов'язаний відповідати підприємству протягом життєвого циклу, бути синхронним йому, але на відміну від інших об'єктів, наприклад, технічних систем, бізнес-система перебуває в стані постійної еволюції. Отже, корпоративний портал ніколи не може бути закінчений як деякий продукт і остаточно зданий в експлуатацію, а живе й розвивається разом з компанією.

До основних функцій з підтримки корпоративного порталу в цілому слід віднести такі:

- моніторинг широкого набору показників;
- підтримка ПЗ в актуальному стані;
- контроль над виконанням загальносистемних функцій;
- збір, обробка й аналіз статистичних даних;
- збір і аналіз зауважень і пропозицій від користувачів усіх категорій;
- вироблення рекомендацій з удосконалювання порталу й організація їх розгляду координаційним органом;
- реалізація прийнятих рекомендацій.

Упровадження корпоративного інформаційного порталу дає такі переваги для бізнесу:

- підвищення інформованості осіб, які приймають рішення, тому що вся необхідна для співробітників інформація публікується на одному ресурсі;
- оптимізація комунікацій усередині підприємства і з контрагентами;

- інтеграція інформаційних ресурсів, яка забезпечує розвиток та підвищення активності використання інформаційних ресурсів;
- простота використання системи за рахунок зручного інтерфейсу;
- ефективна організація й підтримка спільної роботи над документами, проектами, програмами;
- поліпшення безпеки системи, тому що користувачі можуть бачити тільки ту інформацію й виконувати тільки ті дії, на які в них є права.

Для представлення концепції внутрішньокорпоративного порталу банку були застосовані підходи об'єктно-орієнтованого аналізу, нотація UML, та кросплатформний сервіс Figma, який дозволяє декільком розробникам в режимі реального часу працювати над одним і тим же проектом. Цей онлайн редактор графіки дозволяє відслідковувати історію версій; надавати спільний доступ; використовувати векторні мережі.

Дизайн порталу був розроблений з урахуванням корпоративних кольорів банку.

Основні функції порталу були груповані на наступними розділами: новини, чат, пошта, завдання, документи, події заяви, форум, база знань, банк, настроювання.

На рис. 2 представлений макет (mockup) розділу Новини корпоративного порталу банку «Credit Agricole».

Головними діючими особами, які будуть користуватися сервісами порталу та створювати корпоративний документообіг, базу даних та знань, були обрані наступні: співробітник банку, менеджер, PR-менеджер, HR-менеджер, Адміністратор / Модератор / Амбасадор, Системний адміністратор.

Нижче наведений опис зазначених дійових осіб

та варіанти використання (Use case в нотації UML), тобто дії, які певна дійова особа може виконувати в системі, в нашому випадку – корпоративному порталі банку.

Співробітник – це користувач порталу, який має доступ до контенту, спілкування і зворотного зв'язку. Співробітник може виконувати наступні дії:

- Відвідування розділу "Люди".
- Додавання користувача порталу в "Колеги".
- Зв'язок з користувачем.
- Перехід до профілю користувача.
- Відвідування розділу "Новини".
- Спілкування по пошті.
- Спілкування в чатах.
- Відвідування розділу "Завдання".
- Створення нового завдання.
- Робота з існуючими завданнями.
- Робота з електронними документами.
- Відвідування розділу події.
- Перегляд записів про події.
- Запис на подію.
- Відвідування розділу "Заяви".
- Створення нової заяви.
- Управління створеними заявами.
- Відвідування форуму.
- Перегляд обговорень.
- Додавання нових тем для обговорення.
- Відвідування розділу "База знань".
- Перегляд статей.
- Створення нової статті.
- Управління власними статтями.
- Відвідування розділу "Банк".
- Перегляд інформації про банк.
- Перегляд інформації про продукти банку.
- Перегляд інформації по відділеннях банку.

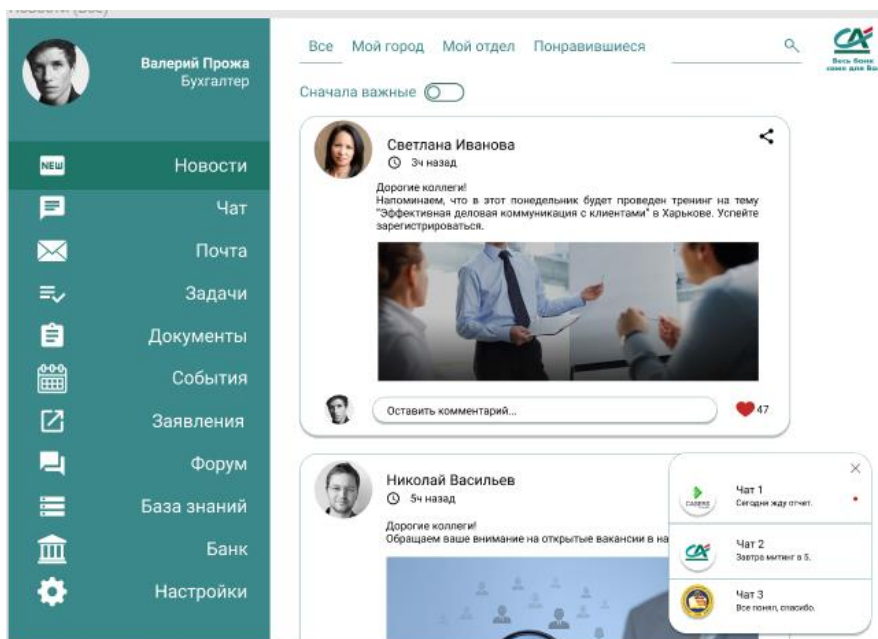


Рис. 2. Макет (mockup) розділу «Новини корпоративного порталу банку «Credit Agricole»

- Перегляд інформації щодо акредитованих юристів.
- Відвідування свого профілю.
- Редагування інформації свого профілю.
- Розміщення новин.
- Створення форм для заповнення.

PR-менеджер – це фахівець, який працює над створенням позитивної репутації компанії, бренду, товару або послуги. Його дії в системі направлені на планування корпоративних заходів.

HR-менеджер – фахівець з управління персоналом компанії, який може здійснювати:

- Управління заявами, що надійшли до банку.
- Управління внутрішніми вакансіями.
- Робота з поданими резюме за відкритими вакансіями.
- Робота з електронним календарем.
- Відвідування розділу "Вакансії".
- Перегляд інформації про вакансії.
- Відправлення резюме.
- персоналізація порталу.
- Зміна локалізації порталу.
- Налаштування меню.

Менеджер – це представник окремих структурних одиниць, які відповідають за контент в рамках своєї гілки / сторінки департаменту (під контролем адміністраторів). Менеджер може виконувати такі дії в системі, як:

Автоматизоване формування первинної документації. Управління записами про освітні події.

Адміністратор / Модератор / Амбасадор – цю роль виконує користувач системи, який управляє наповненням і контентом порталу. Його дії в системі корпоративного порталу такі:

- Управління статтями в базі знань.
- Модерація записів про відкриті вакансії.
- Відправлення статей на доопрацювання.
- Затвердження надійшли статей.
- Контроль доступу до статей.
- Модерація новин.
- Модерація записів про події.
- Модерація форуму.

Системний адміністратор – це користувач корпоративного порталу, який управляє правами, підтримкою користувачів, ІТ модифікаціями порталу і т. ін.

Висновки. Таким чином, для виконання кейсу з проектування вимог та функціоналу корпоративного порталу міжнародного банку «Credit Agricole» було виділено 6 дійових осіб, для яких описано сценарії 56 варіантів використання. Розроблений глосарій проекту, який включає опис 61 терміну.

Розроблено та представлено керівництву банку 19 інтерактивних макетів, які імітують дії користувачів порталу, різних функціональних підрозділів та ієрархічних структур.

Проект був представлений на всеукраїнському конкурсі з розробки кейсів у головному офісі міжнародного банку «Credit Agricole» в Україні та зайняв перше місце.

Список літератури

1. Birinder Singh. S., Darren D. Developing knowledge management capabilities: a structured approach. *Journal of Knowledge Management*. 2011. Vol. 15, issue 2. P. 313–328.
2. Lestarini D., Rafflesia S. Putri, Surendro K. A conceptual framework of engaged digital workplace diffusion. *Proceedings of the 2015 9th International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications (04–05th October, 2018, Kota Bandar Lampung, Indonesia)*. 2015. P. 1–5.
3. Lavenda D. *What Gartner Wants You to Know About the New Digital Workplace*. URL: <http://www.cmswire.com/social-business/what-gartner-wants-you-to-know-about-the-new-digital-workplace> (дата звернення: 30.03.2018).
4. White M. Digital workplaces: Vision and Reality. *Business Information Review*. 2012. Vol. 29. P. 205–214.
5. Dieng-Kuntz R. Corporate semantic webs. *Encyclopedia of Knowledge Management*. Hershey, PA (USA), Idea Group Reference. 2006. P. 67–80.
6. O'Brien H. L., Toms E. G. The Development and Evaluation of a Survey to Measure User Engagement. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. 2010. Vol. 61. P. 50–69.
7. Hung Y., Li W., Goh Y. S., Rau P. L. P. Integration of Characteristics of Culture into Product Design: A Perspective from Symbolic Interactions. *Cross-Cultural Design Methods Practice and Case Studies*. Berlin, Springer. 2013. Vol. 8023. P. 208–217.
8. Firestone Joseph M. *Enterprise Information Portals and Knowledge Management*. Butterworth-Heinemann, Boston, KMCI Press, 2003. 422 p.
9. Lehmann J., Lalmas M., Yom-Tov E., Dupret G. Models of User Engagement. *UMAP'12 Proceedings of the 20th international conference on User Modeling Adaptation and Personalization (16-20 July, 2012, Montreal, Canada)*. 2012. P. 164–175.
10. Terra Jose C., Gordon C. *Realizing the promise of corporate portals: leveraging knowledge for business success*. Amsterdam, Butterworth-Heinemann, 2003. 428 p.
11. Lyubchak V. O., Khomenko V. V., Kyrychenko K. I. Organizational support of the integrated information system of university management. *Materials of the international scientific-practical conference «Actual problems of ICT specialists training» (15–19 May 2013 r., Khmelnytsky – Sumy)*. P. 2. Khmelnytsky: KhNU; Sumy: SSU, 2013. P. 127–132.
12. Hetze K., Winistörfer H., CSR communication on corporate websites compared across continents. *International Journal of Bank Marketing*. 2016. Vol. 34, no. 4. P. 501–528.

References (transliterated)

1. Birinder Singh. S., Darren D. Developing knowledge management capabilities: a structured approach. *Journal of Knowledge Management*. 2011, vol. 15, issue 2, pp. 313–328.
2. Lestarini D., Rafflesia S. Putri, Surendro K. A conceptual framework of engaged digital workplace diffusion. *Proceedings of the 2015 9th International Conference on Telecommunication Systems Services and Applications (04–05th October, 2018, Kota Bandar Lampung, Indonesia)*. 2015, pp. 1–5.
3. Lavenda D. *What Gartner Wants You to Know About the New Digital Workplace*. Available at: <http://www.cmswire.com/social-business/what-gartner-wants-you-to-know-about-the-new-digital-workplace> (accessed 30.03.2018).
4. White M. Digital workplaces: Vision and Reality. *Business Information Review*. 2012, vol. 29, pp. 205–214.
5. Dieng-Kuntz R. Corporate semantic webs. *Encyclopedia of Knowledge Management*. Hershey, PA (USA), Idea Group Reference. 2006, pp. 67–80.
6. O'Brien H. L., Toms E. G. The Development and Evaluation of a Survey to Measure User Engagement. *Journal of the American Society for Information Science and Technology*. 2010, vol. 61, pp. 50–69.
7. Hung Y., Li W., Goh Y. S., Rau P. L. P. Integration of Characteristics of Culture into Product Design: A Perspective from Symbolic Interactions. *Cross-Cultural Design Methods Practice and Case Studies*. Berlin, Springer. 2013, vol. 8023, pp. 208–217.
8. Firestone Joseph M. *Enterprise Information Portals and Knowledge Management*. Butterworth-Heinemann, Boston, KMCI Press, 2003. 422 p.

9. Lehmann J., Lalmas M., Yom-Tov E., Dupret G. Models of User Engagement. *UMAP'12 Proceedings of the 20th international conference on User Modeling Adaptation and Personalization (16-20 July, 2012, Montreal, Canada)*. 2012, pp. 164–175.
10. Terra Jose C., Gordon C. *Realizing the promise of corporate portals: leveraging knowledge for business success*. Amsterdam, Butterworth-Heinemann, 2003. 428 p.
11. Lyubchak V. O., Khomenko V. V., Kyrychenko K. I. Organizational support of the integrated information system of university management. *Materials of the international scientific-practical conference «Actual problems of ICT specialists training» (15–19 May 2013 r., Khmelnytsky – Sumy)*. P. 2. Khmelnytsky, KhNU Publ.; Sumy, SSU Publ., 2013, p. 127–132.
12. Hetze K., Winistörfer H., CSR communication on corporate websites compared across continents. *International Journal of Bank Marketing*. 2016, vol. 34, no. 4, p. 501–528.

Надійшла (received) 25.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Золотарьова Ірина Олександрівна (Золотарева Ирина Александровна, Zolotaryova Iryna Oleksandrivna) – кандидат економічних наук, професор, професор кафедри інформаційних систем, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1825-0097>; e-mail: iryua.zolotaryova@hneu.net

Плекханова Ганна Олегівна (Плекханова Анна Олеговна, Plekhanova Ganna Olegivna) – старший викладач кафедри інформаційних систем, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1825-0097>; e-mail: ganna.plekhanova@hneu.net

Плоха Олена Борисівна (Плохая Елена Борисовна, Plokhа Olena Borysivna) – кандидат економічних наук, професор, доцент кафедри інформаційних систем, Харківський національний економічний університет ім. С. Кузнеця; м. Харків, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1825-0097>; e-mail: olena.plokhа@hneu.net.

Y. M. GONTAR, K. V. TKACH, B. O. YENA, A. V. VASYLENKO

TOWARDS INFORMATION SYSTEM DEVELOPMENT FOR DATA EXTRACTION FROM WEB

Today, the Internet contains a huge number of sources of information, which is constantly used in our daily lives. It often happens that similar in meaning information is presented in different forms on different resources (for example, electronic libraries, online stores, news sites and etc.). In this paper, we analyze the extraction of information from certain type of web sources that is required by the user. The analysis of the data extraction problem was carried out. When considering the main approaches to data extraction, the strengths and weaknesses of each were identified. The main aspects of the extraction of web knowledge were formulated. Approaches and information technologies for solving problems of syntactic analysis based on existing information systems are analyzed. Based on the analysis, the task of developing models and software components for extracting data from certain types of web resources were solving. A conceptual model of extracting data was developed taking into account web space as an external data source. A requirements specification for the software component was created, which will allow to continue working on the project and to clearly understand the requirements and constraints for implementation. During the process of modeling software, the following diagrams have been developed, such as activities, sequences and deployments, which will then be used to create the finished software application. For further development of the software, a programming platform and types of testing (load and modular) were defined. The obtained results allow to state that the proposed design solution, which will be implemented as a prototype of the software system, can perform the task of extracting data from different sources on the basis of a single semantic template.

Key words: information, web search, data extraction, data source, data mining, language standards, informational technology.

Ю. М. ГОНТАР, К. В. ТКАЧ, Б. А. ЄНА, А. В. ВАСИЛЕНКО

ПІДХІД ДО РОЗРОБКИ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ЕКСТРАКЦІЇ ДАНИХ З ВЕБ

Сьогодні Інтернет містить величезну кількість джерел інформації, яка постійно використовується в нашому щоденному житті. Часто буває, що схожа за змістом інформація представлена в різній формі на різних ресурсах (наприклад, електронні бібліотеки, інтернет-магазини, новинні сайти). У даній роботі аналізується вилучення інформації з веб-джерел певного типу, яке потрібно користувачеві. Проведено аналіз проблеми вилучення даних. При розгляді основних підходів до екстракції даних були виділені сильні і слабкі сторони кожного. Сформульовано основні аспекти вилучення веб-знань. Проаналізовано підходи та інформаційні технології вирішення проблем синтаксичного аналізу на основі існуючих інформаційних систем. На основі проведеного аналізу була сформована задача розробки моделей і програмних компонентів для отримання даних з веб-ресурсів певного типу. Розроблено концептуальну модель вилучення даних з урахуванням веб-простору як зовнішнього джерела даних. Була створена специфікація вимог для програмного компонента, що дозволить продовжити роботу над проектом, щоб чітко розуміти вимоги і обмеження для реалізації. При моделюванні програмного забезпечення були розроблені наступні діаграми, такі як діаграми класів, активності, послідовності і розгортання, які потім будуть використовуватися для створення готового додатка. Для подальшої розробки програмного забезпечення була визначена платформа програмування і види тестування (навантажувальний і модульне). Отримані результати дозволяють стверджувати, що запропоноване проектно рішення, яке буде реалізовано у вигляді прототипу програмної системи, може виконувати завдання екстракції даних з різних джерел на основі одного семантичного шаблону.

Ключові слова: інформація, екстракція даних, джерело даних, інтелектуальний аналіз даних, мовні стандарти, інформаційні технології.

Ю. Н. ГОНТАРЬ, Е. В. ТКАЧ, Б. О. ЕНА, А. В. ВАСИЛЕНКО

ПОДХОД К РАЗРАБОТКЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ДАННЫХ ИЗ ВЕБ

Сегодня Интернет содержит огромное число источников информации, которая постоянно используется в нашей ежедневной жизни. Часто бывает, что похожая по смыслу информация представлена в разной форме на разных ресурсах (например, электронные библиотеки, интернет-магазины, новостные сайты). В данной работе анализируется извлечение информации из веб-источников определенного типа, которое требуется пользователю. Проведен анализ проблемы извлечения данных. При рассмотрении основных подходов к экстракции данных были выделены сильные и слабые стороны каждого. Сформулированы основные аспекты извлечения веб-знаний. Проанализированы подходы и информационные технологии решения проблем синтаксического анализа на основе существующих информационных систем. На основе проведенного анализа была сформирована задача разработки моделей и программных компонентов для извлечения данных из веб-ресурсов определенного типа. Разработана концептуальная модель извлечения данных с учетом веб-пространства как внешнего источника данных. Была создана спецификация требований для программного компонента, что позволит продолжить работу над проектом, чтобы четко понимать требования и ограничения для реализации. При моделировании программного обеспечения были разработаны следующие диаграммы, такие как диаграммы классов, активности, последовательности и развертывания, которые затем будут использоваться для создания готового приложения. Для дальнейшей разработки программного обеспечения была определена платформа программирования и виды тестирования (нагрузочное и модульное). Полученные результаты позволяют утверждать, что предлагаемое проектное решение, которое будет реализовано в виде прототипа программной системы, может выполнять задачи экстракции данных из разных источников на основе одного семантического шаблона.

Ключевые слова: информация, экстракция данных, источник данных, интеллектуальный анализ данных, стандарты, информационные технологии.

Introduction. The amount of information available through the Internet is constantly increasing. Unfortunately, extracting useful content from this huge amount of data remains an open question. The lack of standard data models and structures makes developers create solutions from scratch. In some cases, the use of descriptions of metadata or data models can help to

understand the structure of data.

An expert figure is still needed in many situations where developers do not have the right fundamental knowledge. This forces developers to spend expensive time, absorbing expert knowledge. In other areas there are promising solutions that use machine learning techniques. However, increasing accuracy requires an enlargement the

complexity of the system that cannot be realized in many projects.

The purpose of the study is to develop software components for extraction of data from web resources of a certain type. This requires an analysis of the extraction algorithms, modern programs that are implemented and an overview of the methodology and technology solutions to the problem.

Data extraction. The Internet needs a language that is compatible with the syntax, which allows the user to display data with saving a particular layout. HTML became the language of the Internet and, therefore, the most accepted decision. However, HTML, by default, does not provide any mechanism that facilitates the automatic analysis of existing documents [1]. This restriction does not allow to distinguish content from the layout and semantics of data.

Several standards, such as RDF, RDFS and OWL, have been developed to provide a common syntax for defining data models. These solutions allow to define ontologies that support queries. These technologies are usually not understood by developers who initially ignore the process of semantic annotation in developing HTML pages. To simplify this problem, a later approach called Schema defines a vocabulary of concepts such as people, places, events and products that allow annotation of data contained in an HTML document. This allows to establish a connection between the content and any existing scheme, bring semantics to the Internet.

Web page design can hide data from existing search engines [2]. Using dynamic content, CAPTCHAS, private web pages, scripts or unconnected content among others leads to the creation of Deep Web. A simple example is web pages that use search queries in database. Information contained in the database can't be indexed by the search engine, as this requires the software engine interact with the search form, defines the search parameters, and understands the semantics of the returned data. Commercial search engines, such as Google, Bing, or DuckDuckGo, are developing their tools with a clear focus on indexing the so-called surface network. This makes us think that most of the information contained on the Internet is not indexed. This problem has recently been covered by the MEMEX DARPA project, which shows an attempt to index the information contained in the Deep Web [3].

The processing of data on any of these webpages involves a certain degree of human interaction (filling out the search form, script interaction, etc.). After downloading raw data, it becomes a kind of index format that can be stored in the database for further analysis [4]. When solving the problem of extracting knowledge, most solutions are developed from scratch, engaging in data extraction, analysis and storage. In the case of multiple data sources, the complexity of the problem increases until it becomes impossible.

We can identify three key players in any problem of knowledge extraction. The first is a data source containing relevant information (for example, a web page). The second is a database for data storage purposes (for example, MySQL). The third is an expert who can

determine how to translate data into a source and into a database. Transformation between source and base can be considered automatically done. Regardless of the level of automation, the role of an expert is needed to insert some initial semantics of the data before the removal. In addition, the expert is responsible for determining whether data extraction is correct or not. The fourth actor can be developers. The developer is defined as a professional who can contribute to the development of a solution in a technical sense. The developer is appointed to write code, subprograms and programs that prepare processed data.

As a rule, some aspects are ignored in existing projects, such as:

1 Several data sources. Most approaches to data extraction plan deal with several data sources that are similar in design (for example, on Amazon product pages, Wikipedia, etc.). The system must take into account that the data sources do not have a unique design, basically inconsistent in the source or several sources of information.

2 Multilingual approach. Most existing solutions consider only data sources written in one language. For example, Member Countries and partners use their official language for the publication of any EU-related document, and official central reports are available in English, French or German, as the most commonly used languages, by the number of speakers.

3 Extract data from different file formats: HTML is the most common data format. However, other formats such as XML, DOC or PDF may be present. For HTML and XML there are various parsers that also store the formatting structure, so you can use it later. DOC and parser PDFs are harder to find, and most of them extract text data without any formatting. This makes it difficult to automatically extract data. In some extreme cases, files are archived in various formats (for example, ZIP, RAR, self-extracting RAR), and the file preprocessor component must be designed to receive data. Moreover, data encoding is also a problem that depends on the base system. In the current web world UTF-8 is a widely used standard, but in some cases, servers send another encoding from the actual file encoding.

4 Multiple recurring operations and continuous updates. In system design, it's important to keep in mind that data from relevant data sources develops over time, which means that you can add more documents, but the design of the extraction process can also be changed through structural changes to the document. Most of the operations can be reused in domains and data sources, so the conveyor needs to be reused and configurable. Moreover, these operations must be performed continuously and repeatedly, without much human intervention.

The simplest solution adopted by many projects is to use XQuery [5] or regular expressions to extract the exact path to the target element. This approach is not very resistant to structural changes of the document template. Another popular approach is the use of advanced style table language transformations (XSLT) [5], which provides a unified syntax for writing conversion rules from compatible XML languages. In the basic form,

HTML is basically XML-compatible, so this approach can be applied to HTML. This approach is more durable than XQuery to structural changes, but it is usually very difficult to debug. Another simple technique, very practical in small projects, is a simplified version of HTML. This is achieved by simplifying the syntax of HTML by deleting all elements except the main HTML syntax and formatting [6].

In recent years, the problem of extraction of knowledge is intensively studied. The first family of solutions has studied the use of domain languages to determine how data should be deleted. Solutions similar to those presented in use the language of extracting declarative information to determine data extraction plans. Similarly, [7] uses rule sets to determine extraction. In these solutions, the quality of extraction depends in particular on the operators' skills to determine the rules for extracting. The second family of solutions investigates the use of machine learning techniques to improve the information extraction. These solutions are based on using output models that attempt to build relationships for this data set.

An overview of the existing methods of analyzing web content with an emphasis on automated and machine learning methods was reviewed earlier [8]. An automated iterative process for creating a formal description of a document series template using a single, homogeneous template can automatically detect duplicate structures within a single template and create an approximation of the page structure, as well as the ability to obtain any relevant data [9]. IEPAD uses this approach and reduces the complexity of the problem by grouping HTML element tags into different categories [10]. The result of IEPAD is the PAT tree, which is closer to the single, uniform, template document. Van [11] broadens this approach by comparing the similarity of a tree obtained by constructing several tree elements of HTML.

One of the popular frameworks that unifies the methods of machine learning and based on dictionaries is GATE [12]. This toolkit provides a complete structure for annotation, creating dictionaries for named objects, and various methods for processing natural language and machine learning, which is very useful for creating controlled approaches in Data Mining.

Recently, the DeepDive framework [13] has attracted much attention from the research community. DeepDive uses a set of defined rules to establish relationships between objects. The final creation of a database is an iterative loop, in which the operator can control the process of machine learning, identifying errors committed by the system. Similarly, Google Knowledge Vault builds relationships using RDF triplets. This approach shows some similarity to DeepDive with a clear emphasis on data scalability.

Approaches to data extraction from web resources. Extraction is a process of obtaining data from resources, which, as a rule, has a more practical component than the theoretical one. The main purpose of extraction is the collection of data (parsing) with subsequent preservation in the right format. In fact, the task is to write HTML

parsers, then it will be discussed in more detail. There are several approaches to extracting data.

DOM tree analysis using XPath. Using this approach, data can be obtained directly by the identifier, name, or other attributes of the tree element (such item can be paragraph, table, block, etc.). In addition, if an item is not marked with any identifier, then you can get it by some unique path, going down the DOM tree or navigating through a collection of similar elements.

Advantages of this approach:

- data of any type and any level of complexity can be obtained;
- knowing the location of an element, you can get its value by writing the path to it.

Disadvantages of this approach:

- various HTML / JavaScript engines generate a DOM tree differently, so you need to bind to a specific engine; the path to the element may change, therefore, as a rule, such parsers are designed for a short period of data collection;
- the DOM path can be complex and not always unambiguous.

This approach can be used in conjunction with the Microsoft.mshtml library, which is essentially the main element in Internet Explorer.

The Data Extracting SDK uses Microsoft.mshtml to analyze the DOM tree, but it is a "superstructure" over the library for ease of use.

The next evolutionary stage of the DOM tree analysis is the use of XPath – that is, the ways that are widely used in parsing XML data. The essence of this approach is to use a simple syntax to describe the path to an element without need for a gradual downward movement of the DOM tree. This approach is well known by the jQuery library and the HtmlAgilityPack library.

Parsing lines. Despite the fact that this approach cannot be used to write serious parsers, it's necessary to pay attention to it.

Sometimes the data is displayed using a certain template (for example, a mobile phone characteristics table) when the values of the parameters are standard and only their values change. In this case, the data can be obtained without analyzing the DOM tree, and by parsing the strings, for example, as it is done in the Data Extracting SDK. The use of a set of methods for analyzing strings sometimes (more often, in simple template cases) is more effective than a DOM tree or XPath analysis.

Using Regular Expressions. Regular expressions should be used only for obtaining data that has a strict format – electronic addresses, telephones, etc., in rare cases – addresses, template data.

Visual approach. At this moment, the visual approach is at an early stage of development. The essence of the approach is that the user could "configure" the system without using a software language or API to get the necessary data of any complexity.

Methods of analyzing web pages at the level of information blocks. There are currently a large number of available web scanners in open source projects. One is the Apache Nutch [14] project, which offers a complete

structure for the development of distributed and scalable scanners that can easily be linked to other solutions from the Apache environment. However, for smaller-scale solutions, other frameworks such as Scrapy are more acceptable. Scrapy lets to define a parallel scanner with Python and provides the developer with a structure that manages simultaneous queries and makes it easier to connect to applications based on Django. To handle pages using JavaScript, the most common approach is to use the Selenium driver [15]. This driver allows you to connect a large number of browsers, such as Firefox or Chrome, using a scanner and emulate the behavior of the user who clicks or text over the current page.

Formulation of the problem. Scanning web pages is the first step in data collection. The items to be traversed may vary, depending on the data source. How to crawl web pages depends on the design of the data source. In some cases, pages are easily accessible through a single URL or can be obtained after completing the search form.

Possible scenarios:

- Identity by public identifier. In this case, each item that is to be traversed is uniquely identified with a URL that contains a unique identifier. If the generation of identifiers is known, you can statically generate a list of possible URLs for the query.
- Identification on an unknown identifier. As in the previous scenario. However, how the IDs are generated is unknown. In this case, the identifiers must first be extracted from the website itself, and then used to create a final destination URL that is to be traversed.
- Dynamic URLs. Many platforms distribute content to dynamic URLs. This makes it impossible to statically generate a list of addresses for study. This script refers to the initial navigation that requests the URL web platform and then generates unique URLs that can identify these elements to ensure their uniqueness in the archival system.
- As mentioned earlier, it's difficult to develop a common scan solution that can be useful in all scenarios. This is due to the fact that many platforms contain a large number of JavaScript code in conjunction with AJAX messaging. It is possible to generalize some aspects that need to be taken into account during the phase of circumvention.
- The following collection of links. Many web portals display content received after a database request. This means that not all of the existing content is displayed at once, but only a small part. One thread can scan each page with a list of links, while others can navigate through existing links.
- Not all items are displayed. The results displayed in these systems are simply the result of a database query. In some cases, the result set is divided into pages that need to be switched, in other cases the resulting set has a limit that

prevents full display of existing results. In these cases, it may not be possible to scan all existing results because the system does not disclose this information.

- Massive use of JavaScript. In many cases, the use of JavaScript solutions greatly complicates the scanning of these systems. The easiest solution is to emulate user behavior using Javascript engines. However, it imposes penalties on the side of the scan due to the excessive use of resources of some browsers.
- Limit of queries. To avoid attacks such as "denial of service" (DDoS), many platforms track requests. Exceeding a certain number of queries may result in a temporary termination of the service for the user. Each platform is different, and only a trial error method can reveal what measures these platforms use.
- Cookies and sessions. Many systems use cookies to store session identifiers, which allow the server to identify query parameters that are used by the user. However, these cookies have an expiration date, which can sometimes break the extraction on some platform.
- Not serviced. Bypass servers may fail. Multiple crawling of these servers will simply return the HTTP error code. However, many systems return a web page that informs about the inaccessibility of the service.
- Type of content. The content type code returned by the HTTP header is especially important when parsing web pages that are not encrypted using standard ASCII or UTF8.

The task of this work is to analyze and develop models and software components for extraction of data from web resources of a certain type.

Specification of software requirements. The component developed in this work provides a convenient opportunity for automatic data extraction and its further automatic analysis. The primary area of knowledge is the extraction and analysis of marketing information for obtaining a sample of the most relevant and most advantageous offers in the market. But the component developed in this work has a wide range of uses, from travel agencies to state-owned enterprises.

The purpose of this project is to automate the process of extracting accurate and specific data contained in various WEB-pages. An example of the overall interaction of the system is shown in Figure 1. This system is a complex software and hardware. For its full functioning, the software is developed taking into account the ability to process a large number of requests from users of the product, as well as its reliability, openness for further development, security and properly developed mode for its further support.

This component is developed as a component of the server part of larger software systems. The relationship between the client and the component that is developed on the server use HTTP queries. The request will contain information about which pages to extract, and what type

of data they should provide. On the server component is trying to get information from the page, and if the extraction was successful – analyzes the page. The information that meets the requirements of the user is returned to the client as the response to the request. Communication with the server is carried out using the same HTTP requests, but they only contain a template, created after the analysis, for further use on similar sites.

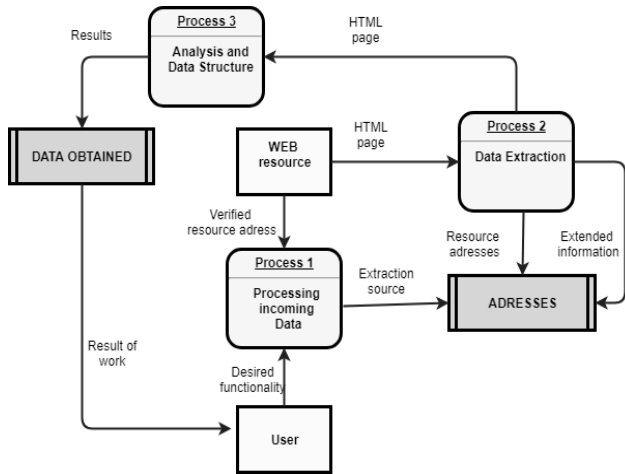


Fig. 1. DFD Diagram of developing system

Figures 2 and 3 depict a component diagram and a use-case diagram respectively.

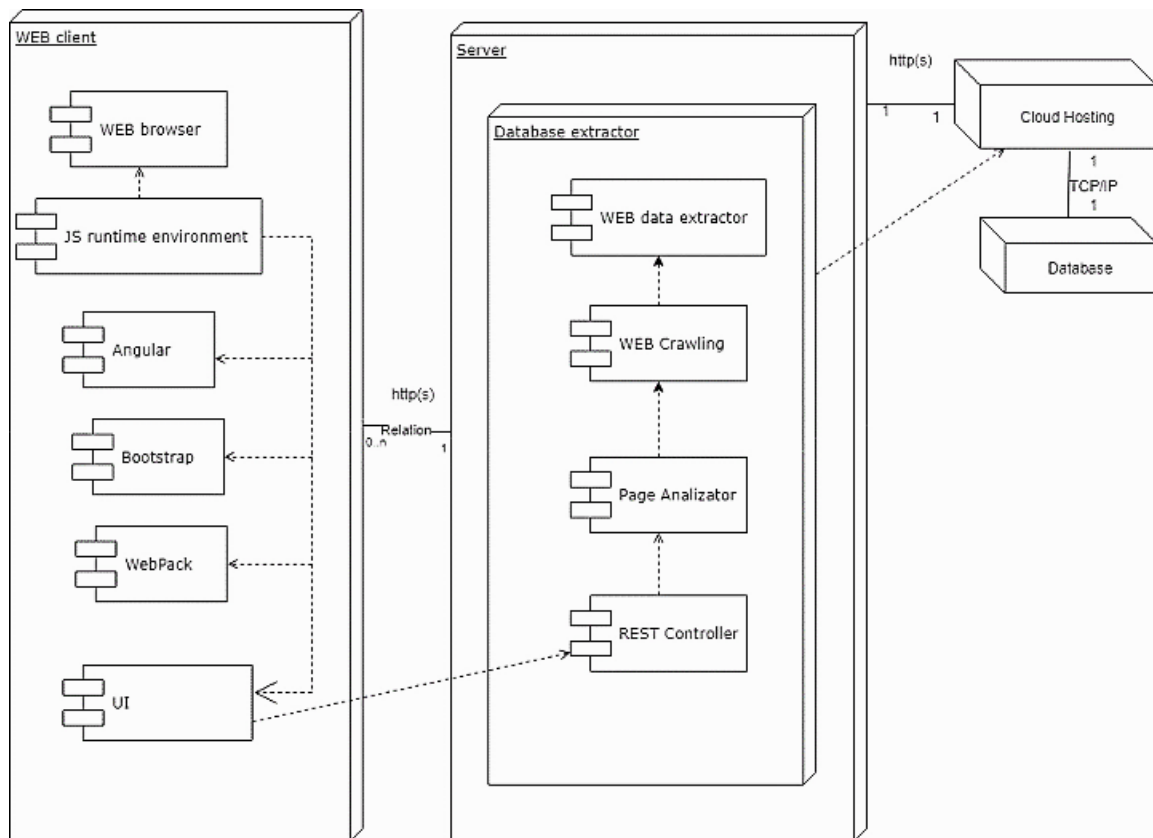


Fig. 2. Component diagram of developing system

The system will receive the WEB-address on the input, and return the result to the user in the format that will select in advance. Connection between the interface and the server will use JSON as the serialization format.

Increasing the number of supported resources should not affect performance. Using pre-created and generated templates by the component itself, analyzing pages with increasing number of resources should decrease complexity and consume less time. To implement this requirement, a requirement stability ratio will be used which shows how many of the already implemented requirements have to be processed from release to release in the development of new features. Also, this metric gives an idea of how easy it is to scale the functional of the system, adding new features.

Transferability is implemented through the use of cloud storage. Due to this, it does not matter which server will store the component. If you need to move it from one server to another, the cost should be minimal. The metric for this requirement is the Adaptability Measure, which measures the ability of the system to adapt to requirements changes or re-design of the system or the integration of applications.

Paying attention to the fact that the system can grow to very large sizes, since there are so many online sites, the complexity of the newly configured resources should not be complicated. Due to the configuration of the extractor using YAML files, the developed component can easily adapt to extraction from new a resource without losing a lot of time and effort.

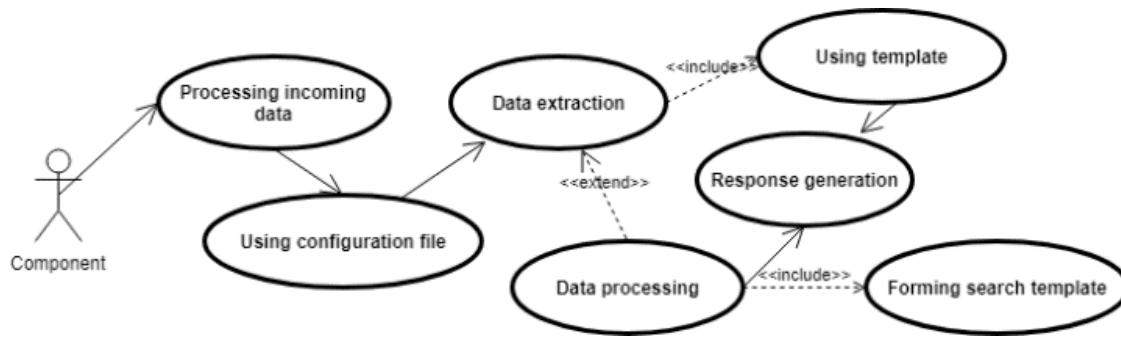


Fig. 3. Use-case diagram of developing system

The regression coefficient will be used as a metric for this requirement. The purpose of the metric is to show the efforts of the team: the creation and adjustment of new features or the bulk of time is lost to work with existing parts of the software. The closer the coefficient to 0, the less was the mistakes made to the existing functional in the implementation of new requirements. If the value is greater than 0.5, then we spend more than half of the time on the restoration of earlier functions of the software.

Software development and testing. The main criterion for choosing a platform was the possibility of cross-platform. So, among all the well-known programming languages, the choice falls on Java. In addition to cross-platform, the strengths of the Java language are also high reliability of work, the development of language. The OOP paradigm gives the language such a wonderful feature as scalability, which makes it possible to expand the system many times without difficulty. The Java language is designed to be as reliable as possible. For example, it is prohibited to use multiple imitation in order to avoid ambiguity when referring to the parent class. Instead, the notion of an interface that is no longer a class has been introduced, but contains general guidelines for creating classes and provides multiple imitation.

At the first stage of testing, it is necessary to conduct a modular testing of all components of the system that can be tested separately from the other in the artificial testing environment. Unit testing will be conducted using Junit's Automation Testing Tool. This choice is due to the simple integration of Junit with Java. In the future it is necessary to perform integration testing, which involves testing in two directions. Integration testing of the component level after unit testing is required to verify the correct interaction of parts of the business logic application. This kind of testing can detect errors in the implementation of external interfaces or their improper use. System-level integration testing is needed to find possible mistakes in the interaction between different subsystems of the software, its interaction with the operating system, and other applications.

Load testing is a subset of performance testing, the collection of indicators and the determination of the productivity and time of the response of the software system or device in response to an external request in order to establish compliance with the requirements of this system.

Apache JMeter is a load testing tool developed by the Apache Software Foundation, a Jakarta subproject. Although JMeter was originally developed as a Web application testing tool, it is currently capable of performing load tests for JDBC connections, FTP, LDAP, SOAP, JMS, POP3, IMAP, HTTP, and TCP.

Postman is a powerful set of API testing tools that has become a must have for many developers. Helps to create test case APIs and improve the productivity of development work. The main purpose of the program is to create collections with API requests.

Locmetrics is very simple freeware. Among the supported languages – C/C++, C#, Java, SQL – it is possible to calculate not only SLOC metrics and its varieties, but also cyclomatic complexity.

Conclusions. An analysis of the data extraction problem was performed. The approaches and information technologies of solving parsing problems on the basis of existing information systems are analyzed. On the basis of the conducted analysis, the task of developing models and software components for extraction of data from web resources of a certain type is set.

The conceptual model of data extraction, considering the web space as an external data source, is developed. This allows to get objective and relevant search results data in the web space.

A requirement specification for a software component has been created. This will allow further work on the project to clearly understand the requirements and limitations to the implementation. The approximate deployment diagram and all types of users that need to be implemented are translated.

In the simulation of the software, the following diagrams were developed such as a class, activity, sequence and deployment diagrams, which will then be used to build a ready-made application.

A software component has been built that allows extraction of data from trading platforms. Its testing and elaborated metrics are responsible for the quality of the product being developed.

Список літератури

1. Baumgartner R., Gatterbauer W., Gottlob G. *Web data extraction system*. In Encyclopedia of Database Systems. 2009. P. 3465–3471.
2. Anupam V., Freire J., Kumar B., Lieuwen D. *Automating web navigation with the WebVCR*. Computer Networks. 2000. P. 503–517.
3. *Memex (Domain-Specific Search)*. URL: www.darpa.mil/program/memex (дата звернення: 02.11.2017).

4. Gatterbauer W., Bohunsky P., Herzog M., Krüpl B., Pollak B. Towards domain-independent information extraction from web tables. *Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web (May 08–12, 2007, Banff, Alberta, Canada)*. New York, ACM, 2007. P. 71–80.
5. Bonifati A., Braga D., Campi A., Ceri S. Active XQuery. *Proceedings of the 18th International Conference on Data Engineering (26 February – 1 March 2002, San Jose, California)*. 2002. P. 129–138.
6. Bohannon P., Dalvi N., Filmus Y. Automatic web-scale information extraction. *Proceedings of the ACM SIGMOD ICMD*. 2012. P. 609–612.
7. Shen W., AnHai D., Jeffrey F. Naughton, Ramakrishnan R. Declarative information extraction using datalog with embedded extraction predicates. In *Proceedings of the 33rd International Conference on Very Large Data Bases*. VLDB Endowment, 2007. P. 1033–1044.
8. Crescenzi V. RoadRunner. Towards automatic data extraction from large Web sites. *Proceedings of the 27th International Conference on Very Large Data Bases*. 2001. P. 109–118.
9. Agichtein E., Gravano L. Snowball: extracting relations from large plain-text collections. *Proceedings of the fifth ACM conference on Digital libraries*. 2000. P. 85–94.
10. Arasu A., Garcia-Molina H. Extracting Structured Data from Webpages. *Proceedings of SIGMOD International Conference on Management of Data (June 9–12, 2003, San Diego, California)*. ACM, New York, 2003. P. 337–348.
11. John T. Van Stan, Aron Stubbins, Tree DOM: Dissolved organic matter in throughfall and stemflow. *Limnology and Oceanography Letters*. 2017. Vol. 3. P. 199–214.
12. Cunningham H., Tablan V., Roberts A., Bontcheva K. Getting more out of biomedical documents with gate's full lifecycle open source text analytics. *PLoS Comput Biol*. 2013. No. 9 (2). P. 31–47.
13. Shin J., Wu S., Wang F., Christopher De Sa, Ce Zhang C., Re C. Incremental knowledge base construction using deepdive. *VLDB Endowment*. 2015. Vol. 8. No. 11. P. 1310–1321.
14. Khare R., Cutting D., Sitaker K., Rifkin A. Nutch: A Flexible and Scalable Open-Source Web Search Engine. *Proceedings of the 14th International Conference on World Wide Web*. 2005, vol. 1, p. 32.
15. Avasarala S. *Selenium WebDriver Practical Guide*. Pact Publishing, 2014. 266 p.
3. *Memex (Domain-Specific Search)*. Available at: www.darpa.mil/program/memex (accessed 02.11.2017).
4. Gatterbauer W., Bohunsky P., Herzog M., Krüpl B., Pollak B. Towards domain-independent information extraction from web tables. *Proceedings of the 16th international conference on World Wide Web (May 08–12, 2007, Banff, Alberta, Canada)*. New York, ACM, 2007, pp. 71–80.
5. Bonifati A., Braga D., Campi A., Ceri S. Active XQuery. *Proceedings of the 18th International Conference on Data Engineering (26 February – 1 March 2002, San Jose, California)*. 2002, pp. 129–138.
6. Bohannon P., Dalvi N., Filmus Y. Automatic web-scale information extraction. *Proceedings of the ACM SIGMOD ICMD*. 2012, pp. 609–612.
7. Shen W., AnHai D., Jeffrey F. Naughton, Ramakrishnan R. Declarative information extraction using datalog with embedded extraction predicates. In *Proceedings of the 33rd International Conference on Very Large Data Bases*. VLDB Endowment, 2007, pp. 1033–1044.
8. Crescenzi V. RoadRunner. Towards automatic data extraction from large Web sites. *Proceedings of the 27th International Conference on Very Large Data Bases*. 2001, pp. 109–118.
9. Agichtein E., Gravano L. Snowball: extracting relations from large plain-text collections. *Proceedings of the fifth ACM conference on Digital libraries*. 2000, pp. 85–94.
10. Arasu A., Garcia-Molina H. Extracting Structured Data from Webpages. *Proceedings of SIGMOD International Conference on Management of Data (June 9–12, 2003, San Diego, California)*. ACM, New York, 2003, pp. 337–348.
11. John T. Van Stan, Aron Stubbins, Tree-DOM: Dissolved organic matter in throughfall and stemflow. *Limnology and Oceanography Letters*. 2017, vol. 3, pp. 199–214.
12. Cunningham H., Tablan V., Roberts A., Bontcheva K. Getting more out of biomedical documents with gate's full lifecycle open source text analytics. *PLoS Comput Biol*. 2013, no. 9 (2), pp. 31–47.
13. Shin J., Wu S., Wang F., Christopher De Sa, Ce Zhang C., Re C. Incremental knowledge base construction using deepdive. *VLDB Endowment*. 2015, vol. 8, no. 11, pp. 1310–1321.
14. Khare R., Cutting D., Sitaker K., Rifkin A. Nutch: A Flexible and Scalable Open-Source Web Search Engine. *Proceedings of the 14th International Conference on World Wide Web*. 2005, vol. 1, p. 32.
15. Avasarala S. *Selenium WebDriver Practical Guide*. Pact Publishing, 2014. 266 p.

References

1. Baumgartner R., Gatterbauer W., Gottlob G. *Web data extraction system*. In Encyclopedia of Database Systems. 2009, pp. 3465–3471.
2. Anupam V., Freire J., Kumar B., Lieuwen D. *Automating web navigation with the WebVCR*. Computer Networks. 2000, pp. 503–517.

Надійшло (received) 25.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Гонтар Юлія Миколаївна (Гонтарь Юлия Николаевна, Gontar Yulia Mikolaivna) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; м. Харків, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3748-5086>; e-mail: gontaryn@gmail.com

Ткач Катерина Вікторівна (Ткач Екатерина Викторовна, Tkach Kateryna Victorivna) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; м. Харків, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7104-800X>; e-mail: tkachkv@i.ua

Єна Богдан Олександрович (Ена Богдан Александрович, Yena Bohdan Oleksandrovych) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент; м. Харків, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4791-956X>; e-mail: enafortest@gmail.com

Василенко Артем Вікторович (Василенко Артем Викторович, Vasylenko Artem Victorovych) – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», аспірант; м. Харків, Україна, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3121-4856>; e-mail: artyom4ek@yandex.ua

УДК 004.42

Т. О. ГОВОРУЩЕНКО**РОЛЬ ВИЗУАЛІЗАЦІЇ ТА ГЕЙМИФІКАЦІЇ У ВИВЧЕННІ ОСНОВ АЛГОРИТМІЗАЦІЇ ТА ПРОГРАМУВАННЯ**

Наразі все більшої популярності набуває інформальна освіта. Однією з найважливіших задач суспільства стає необхідність у більш компактних та ефективних засобах навчання. Враховуючи зростання обсягів інформації та постійну необхідність пояснювати складні концепції простою мовою, візуалізація навчальної інформації та гейміфікація навчального процесу є важливою та актуальною задачею для освіти України. Ще більшого значення візуалізація та гейміфікація набувають для ІТ-освіти України. Метою даної роботи є дослідження ролі візуалізації та гейміфікації у вивченні визначальних для ІТ-фахівця засад алгоритмізації та програмування на прикладі формування алгоритмічного стилю мислення та навичок програмування в студентів спеціальності «Комп'ютерна інженерія» Хмельницького національного університету. В навчальному процесі спеціальності «Комп'ютерна інженерія» Хмельницького національного університету викладачами кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування активно використовуються візуалізація та гейміфікація при викладанні навчальних дисциплін, пов'язаних з алгоритмізацією та програмуванням, з метою надання якісних знань, формування професійних навичок, формування креативного підходу до вирішення задач, навчання роботі у команді та креативності, формування здатності швидко орієнтуватись у мінливих умовах сьогодення, забезпечення інтенсифікації навчання, скорочення часу на вивчення матеріалу. Проведено експеримент з навчання студентів за різними підходами – за традиційним підходом та з використанням візуалізації та гейміфікації. Отримані під час такого експерименту результати підтверджують гіпотезу про вагомий роль візуалізації та гейміфікації в підготовці ІТ-фахівців, зокрема, при формуванні алгоритмічного стилю мислення та навичок програмування. Застосування візуалізації та гейміфікації при вивченні засад алгоритмізації та програмування дає можливість підвищити ефективність засвоєння навчального матеріалу, підвищити мотивацію до навчання, сприяє зростанню якості та результативності навчання, стимулює продуктивну навчальну діяльність.

Ключові слова: візуалізація навчальної інформації, гейміфікація навчального процесу, інформальна освіта, ІТ-освіта, алгоритмічний стиль мислення, навички програмування.

Т. А. ГОВОРУЩЕНКО**РОЛЬ ВИЗУАЛІЗАЦІЇ ТА ГЕЙМИФІКАЦІЇ В ИЗУЧЕНИИ ОСНОВ АЛГОРИТМИЗАЦИИ И ПРОГРАММИРОВАНИЯ**

Сейчас все большую популярность приобретает неформальное образование. Одной из важнейших задач общества становится необходимость более компактных и эффективных средств обучения. Учитывая рост объемов информации и постоянную необходимость объяснять сложные концепции, визуализация и геймификация учебного процесса является важной и актуальной задачей для образования Украины. Еще большее значение визуализация и геймификация приобретают для ИТ-образования Украины. Целью данной работы является исследование роли визуализации и геймификации в изучении основных для ИТ-специалиста основ алгоритмизации и программирования на примере формирования алгоритмического стиля мышления и навыков программирования у студентов специальности «Компьютерная инженерия» Хмельницкого национального университета. В учебном процессе специальности «Компьютерная инженерия» Хмельницкого национального университета преподавателями кафедры компьютерной инженерии и системного программирования активно используются визуализация и геймификация при преподавании учебных дисциплин, связанных с алгоритмизацией и программированием, с целью повышения качества знаний, формирования профессиональных навыков, формирования креативного подхода к решению задач, обучения работе в команде и креативности, формирования способности быстро ориентироваться в меняющихся условиях, обеспечения интенсификации обучения, сокращения времени на изучение материала. Проведен эксперимент по обучению студентов по разным подходам – по традиционному подходу и с использованием визуализации и геймификации. Полученные в ходе такого эксперимента результаты подтверждают гипотезу о весомой роли визуализации и геймификации в подготовке ИТ-специалистов, в частности, при формировании алгоритмического стиля мышления и навыков программирования. Применение визуализации и геймификации при изучении основ алгоритмизации и программирования дает возможность повысить эффективность усвоения учебного материала, повысить мотивацию к обучению, способствует росту качества и результативности обучения, стимулирует продуктивную учебную деятельность.

Ключевые слова: визуализация учебной информации, геймификация учебного процесса, неформальное образование, ИТ-образование, алгоритмический стиль мышления, навыки программирования.

Т. О. ГОВОРУЩЕНКО**ROLE OF THE VIZUALIZATION AND GAMIFICATION IN THE STUDY OF THE PRINCIPLES OF ALGORITHMIZATION AND PROGRAMMING**

At the moment, informal education is gaining in popularity. One of the most important tasks of society is the need for more compact and effective means of training. Taking into account the growth of volumes of information and the constant need to explain complex concepts, the visualization of educational information and gamification of the educational process are the important and actual task for the education of Ukraine. Visualization and gamification are more important for the IT education of Ukraine. The aim of this work is the study of the role of visualization and gamification in the study of the important for IT-specialists principles of algorithmization and programming on the example of forming algorithmic style of thinking and programming skills for students of specialty "Computer engineering" of Khmelnytsky National University. In the educational process of specialty "Computer engineering" at Khmelnytsky National University the lecturers of the department of computer engineering and system programming widely use the visualization and gamification in the teaching of subjects related to algorithmization and programming, for providing the quality knowledge, forming the professional skills, forming the creative approach to solving problems, learning the teamwork and creativity, forming the ability to quickly orientate in a changing conditions, providing the intensification of learning, reducing the time to study the material. The experiment was conducted by teaching the students for different approaches – using the traditional approach and using visualization and gaming. The obtained results of the experiment approve the hypothesis about the important role of visualization and gamification in the teaching the IT specialists, in particular, for the forming the algorithmic style of thinking and programming skills. The use of visualization and gamification in the study of the principles of algorithmization and programming provides the increase of the effectiveness of learning, the increase of the motivation for learning, promotes quality and effectiveness of education, stimulates productive learning activities.

Keywords: visualization, gamification, informal education, IT education, algorithmic style of thinking, programming skills.

© Т. О. Говорущенко, 2018

Вступ. Одна із задач тисячоліття – підвищення якості освіти (навчання) впродовж життя. Тому наразі все більшої популярності набуває інформальна освіта – неорганізований, не завжди усвідомлений та цілеспрямований процес, що триває протягом усього життя людини; здобуття необхідних знань, умінь, навичок у формі життєвого досвіду [1].

Академічна освіта України на сьогодні базується на абстрагуванні понять, ідей та концепцій шляхом перетворення їх у слова та речення. Принципу наочності в контексті проблем, пов'язаних з активізацією навчального процесу, не приділяється достатньо уваги [2]. Але при роботі з інформацією все частіше виникає необхідність її системного відображення та візуалізації для зручності сприйняття та наступного використання.

Інтерес до візуалізації продиктований всім розвитком людства, зростанням потоку інформації, для засвоєння якої стають непридатними громіздкі традиційні методи та засоби подання інформації. Для подальшого накопичення, засвоєння, зберігання, опрацювання та передачі інформації в усіх сферах людської діяльності необхідні нові, компактні та мобільні, засоби відображення об'єктивного світу у свідомості суб'єкта. Візуалізація і є одним з таких засобів.

Візуальна інформація – це універсальна мова, для якої відсутні кордони, яка зрозуміла всім людям. Забезпечуючи внутрішню наочність навчального матеріалу, візуалізація дозволяє досягти цілей, які відповідають пізнавальному, репродуктивно-перетворюючому, продуктивному мисленню, інтелектуальним можливостям студентів та учнів, що значно підвищує ефективність та якість навчання. Завдяки візуалізації великі обсяги інформації можна представляти у лаконічній, згорнутій, зручній і логічній формі, що сприяє інтенсифікації навчання [3].

Необхідність у більш компактних та ефективних засобах навчання стає однією з найважливіших задач суспільства, яке потребує систематичних знань. Візуальні моделі є підсумком певного етапу формування знань, в тому числі теоретичного, в наочній формі виражає його результати, виявляє недоліки та протиріччя, служить для пошуку шляхів поглиблення розуміння та подальшого дослідження.

Другим важливим напрямком підвищення якості освіти, поширеною практикою та ефективним інструментом навчання є гейміфікація – використання ігрових механізмів у неігровому (зокрема, освітньому) контексті; застосування ігрових технік (ігрового матеріалу, елементів гри) з освітньою метою [1].

Гейміфікація сприяє підвищенню мотивації до навчання, якості та результативності навчання, комунікації суб'єктів навчання, стимулювання продуктивної навчальної діяльності [1].

Враховуючи зростання обсягів інформації та постійну необхідність пояснювати складні концепції простою мовою, візуалізація навчальної інформації та гейміфікація навчального процесу є *важливою та актуальною задачею* для освіти України.

Ще більшого значення візуалізація та гейміфікація набувають для ІТ-освіти України, оскільки метою сучасної ІТ-освіти є не лише надання знань, а, насамперед, розвиток професійних навичок та креативного підходу до вирішення задач, а також формування таких компетентностей і особистих якостей, як: співробітництво (робота у команді), креативність, творчий підхід, здатність швидко орієнтуватись у мінливих умовах [4].

Відтак *метою даної роботи* є дослідження ролі візуалізації та гейміфікації у вивченні визначальних для ІТ-фахівця засад алгоритмізації та програмування на прикладі формування алгоритмічного стилю мислення та навичок програмування в студентів спеціальності «Комп'ютерна інженерія» Хмельницького національного університету (ХНУ).

Візуалізація навчальної інформації. Технологія візуалізації навчального матеріалу перегукується із педагогічною концепцією візуальної грамотності (США) [5], яка базується на високій значущості візуального сприйняття та образу для людини в процесах пізнання, сприйняття та розуміння.

Візуалізація – загальна назва прийомів представлення інформації у вигляді, зручному для зорового спостереження та аналізу; процес представлення інформації у вигляді зображення з метою максимальної зручності її розуміння [2]. Візуалізація навчальної інформації – це набір графічних елементів і зв'язків між ними, який використовується для передачі знань від експерта до людини або групи людей, що розкриває причини і цілі цих зв'язків в контексті переданого знання; створення та використання візуальних образів з метою розвитку візуального мислення [6].

Візуалізація навчальної інформації дозволяє розв'язати цілий ряд педагогічних завдань: забезпечення інтенсифікації навчання; скорочення часу на вивчення матеріалу; активізація навчальної та пізнавальної діяльності; формування і розвиток критичного і візуального мислення, зорового сприйняття, образного представлення знань і навчальних дій; передача знань та розпізнавання образів; підвищення візуальної грамотності та візуальної культури тощо [2].

Візуалізація повинна служити основою не лише для більш глибокого розуміння сутності нової інформації, але й для її переведення у довготривалу пам'ять. Основна можливість візуалізації – перекладити інформацію в знання, а також спрощувати розуміння та сприяти пізнанню. Візуалізація – це проміжна ланка між навчальним матеріалом та результатом навчання, яка забезпечує синтез знань, дозволяє опосередковано та наочно представити явища, що вивчаються.

Візуалізація інформації повинна відповідати зростаючим обсягам загальнодоступних даних як когнітивний фільтр, як збільшувальна лінза розуміння, і вона не повинна додавати "шуму" до потоку інформації.

Наразі існує величезна кількість методів, принципів та наукових підходів до візуалізації, однак

відсутня досить повна класифікація цих підходів та методів; єдиною прийнятною класифікацією можна вважати "Періодичну таблицю методів візуалізації" [7], методи з якої і використовуються в навчальному процесі спеціальності «Комп'ютерна інженерія» ХНУ.

Гейміфікація навчального процесу. На сьогодні все більшого розвитку та поширення здобуває концепція «edutainment» («education+entertainment», «навчання+розваги»), яка збільшує мотивацію та інтерес до навчання, стимулює спілкування між всіма учасниками навчального процесу.

Гейміфікація – метод цифрової взаємодії щодо використання ігрової механіки та дизайну в неігрових ситуаціях з метою задіявання і мотивування людей на досягнення своїх цілей [8]. Метою гейміфікації є мотивація людей змінювати поведінку, розвивати навички, стимулювати інновації. Гейміфікація фокусується на тому, щоб гравці могли досягти своїх цілей [9].

В освітніх цілях можуть бути використані наступні елементи ігрового процесу: прогрес – відображення поступового зростання; інвестиції – внесок в гру; поступове відкриття інформації – поступовий доступ до нової інформації [10].

Згідно статистичних даних Масачусетського технологічного інституту [11], ігри в навчальному процесі можуть використовуватись як: платформа для авторів; система подання матеріалів; симуляція; спосіб почати дискусію на певну тему; введення в технології; можливість пристати на чужу точку зору; спосіб документування навчання; критика концепцій; завдання для дослідження.

В навчальному процесі спеціальності «Комп'ютерна інженерія» ХНУ ігрова форма навчання використовується як система подання навчального

матеріалу, як платформа для авторів, а також як введення в технології.

Використання принципів візуалізації та гейміфікації при навчанні алгоритмізації та програмуванню студентів спеціальності «Комп'ютерна інженерія» Хмельницького національного університету. Розглянемо детально, як же використовуються візуалізація та гейміфікація в навчальному процесі спеціальності «Комп'ютерна інженерія» ХНУ.

Для спрощення та інтенсифікації процесу формування алгоритмічного стилю мислення в студентів кафедрою комп'ютерної інженерії та системного програмування ХНУ, в рамках Міжнародного проекту TEMPUS KTU – Knowledge Transfer Unit – From Applied Research and Technology-Enterpreneurial Know-How Exchange to Development of Interdisciplinary Curricula Models (544031-TEMPUS-1-2013-1-AT-TEMPUS-JPHES), було придбано програмовані конструктори LEGO Mindstorms Education. Для програмування роботів, побудованих з цих конструкторів, студентами першого курсу використовується середовище LEGO MINDSTORMS EV3 Home Edition [12] – блочно-орієнтоване середовище програмування, яке дозволяє візуалізувати, унаочнити алгоритм дії робота. На рис. 1 представлено приклад програмування робота-«інтроверта».

Робот-«інтроверт» при наявній перешкоді зупиняється, відступає назад, розвертається на 45 градусів і продовжує рух в новому напрямку – до моменту розрядження батареї або до зустрічі із новою перешкодою. При розробленні такої візуальної простої програми студенти знайомляться з такими алгоритмічними конструкціями, як «вічний» цикл, розгалуження, лінійне виконання.



Рис. 1. Приклад програмування робота-«інтроверта» засобами середовища LEGO MINDSTORMS EV3 Home Edition

Після розроблення програма записується («прошивається») в пам'ять робота, і студенти в реальному часі перевіряють, чи правильно робот був запрограмований, чи виконує він передбачувані ними дії. Якщо функціонування робота неправильне, то студентам досить легко зрозуміти з дій робота, де вони припустились помилки. Таким чином, візуальне програмування в блочно-орієнтованому середовищі програмування LEGO MINDSTORMS EV3 Home Edition, а також можливість реального запуску розроблених програм дає можливість спрощення та інтенсифікації формування алгоритмічного стилю мислення в студентів молодших курсів спеціальності «Комп'ютерна інженерія» ХНУ.

Для підвищення ефективності формування навичок програмування в студентів спеціальності «Комп'ютерна інженерія» ХНУ викладачами кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування використовуються різноманітні візуальні елементи, «підказки», роз'яснення, відео- та анімаційні ролики. Наприклад, при поданні досить важливого, але важкого для сприйняття студентами, матеріалу щодо вказівників та посилань в мовах програмування, щодо роботи з пам'яттю, щодо роботи з різними структурами даних використовуються наступні візуальні елементи – рис. 2-7, а також відеоролік, доступний за посиланням <https://www.youtube.com/watch?v=3X-ray3tDjQ> та анімаційний ролик, доступний за посиланням <http://www.mathwarehouse.com/programming/passing-by-value-vs-by-reference-visual-explanation.php>.

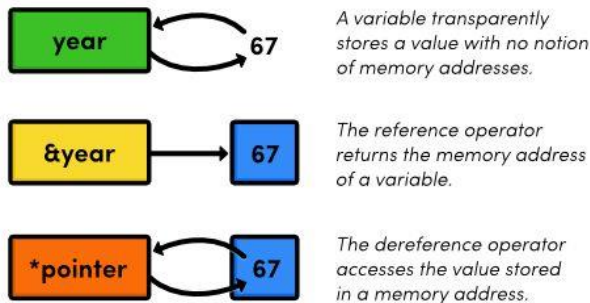


Рис. 2. Візуалізація змісту понять «змінна», «посилання», «вказівник»

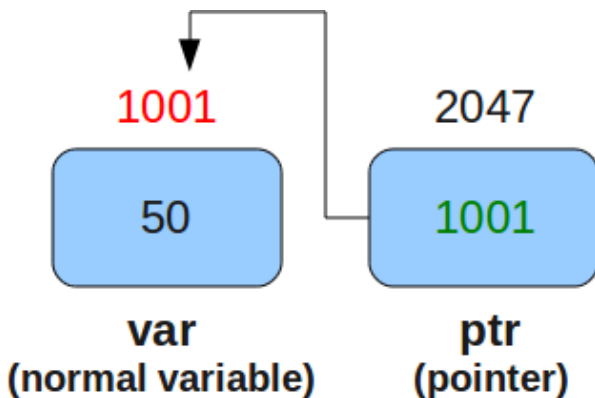


Рис. 3. Візуалізація співвідношення змінної та вказівника

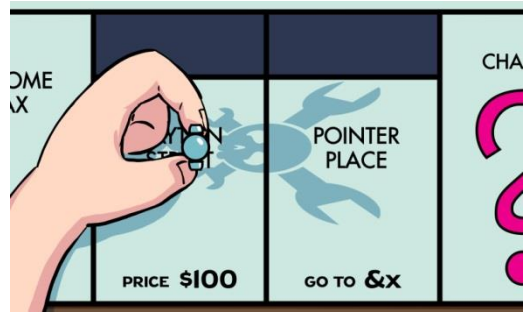


Рис. 4. Візуалізація посилання на змінну

Death and Memory (C++ Stories)

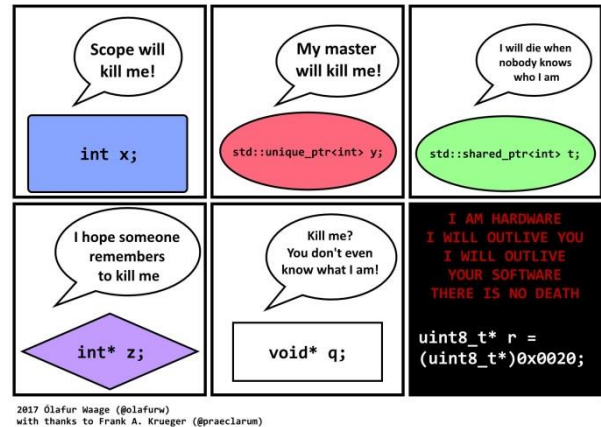


Рис. 5. Візуалізація особливостей роботи з пам'яттю в C++

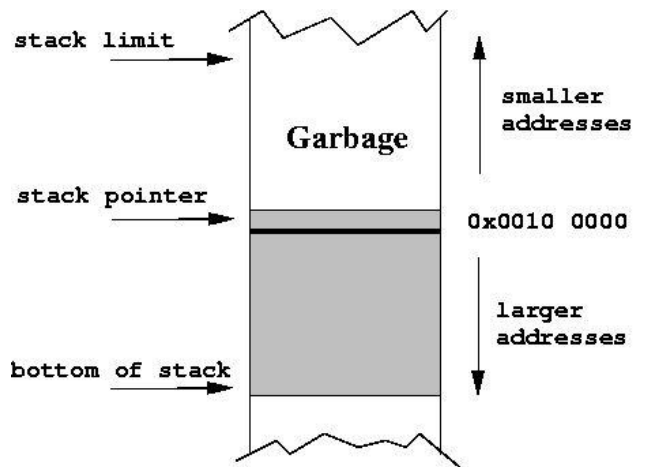


Рис. 6. Візуалізація структури даних «стек»

Щодо гейміфікації навчального процесу, то, наприклад, студенти старших курсів спеціальності «Комп'ютерна інженерія» ХНУ отримують системне уявлення про інженерні проблеми та навички проектного менеджменту, коли потрібно працювати за умов обмеження бюджету та ресурсів, граючи в гру Bridge Builder; отримують навички моделювання предметної галузі, створюючи моделі в грі Star Craft; здобувають навички 3D-моделювання, граючи в StarLogo TNG та StarLogo Nova. Крім цього, викладачами кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування ХНУ проводяться різноманітні батли зі студентами – наприклад, батл

стартапів; батл, хто швидше та якісніше розв'яже задачу з програмування – викладач чи студент і т.ін. Для заохочення інтерактивного спілкування на лекціях викладачі вводять бонусну систему – видають «фішки» активним студентам, певна набрана кількість фішок одним студентом обмінюється на квиток на цікаві ІТ-заходи в м.Хмельницькому.

Візуалізація навчального матеріалу та гейміфікація навчального процесу дозволяє студентам швидко опанувати навіть найскладніший навчальний матеріал та цікаво проводити весь час навчання.

Роль візуалізації та гейміфікації у вивченні засад алгоритмізації та програмування. Для проведення експерименту студентам кожного курсу спеціальності «Комп'ютерна інженерія» було запропоновано на вибір можливість вивчення навчальних дисциплін, пов'язаних з алгоритмізацією та програмуванням, за традиційними технологіями та з використанням візуалізації та гейміфікації. Студенти кожного курсу були за бажанням розділені на дві таких групи (вибірки). Для групи 1 протягом місяця викладання усіх навчальних дисциплін викладачами кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування ХНУ проводилось традиційно – на лекціях викладач з використанням презентації пояснював теоретичний матеріал, на лабораторних студенти після пояснення викладачем практичного матеріалу виконували індивідуальні завдання. Для групи 2 знов-таки протягом місяця викладачі по всіх навчальних дисциплінах презентували теоретичний матеріал за допомогою візуальних засобів, а на лабораторних мала місце гейміфікація навчального процесу.

Далі було проведено зріз знань в студентів обох груп з усіх навчальних дисциплін за навчальним матеріалом, який викладався протягом цього місяця. Діаграми успішності та якості навчальних результатів студентів обох груп представлені на рис.7, 8.

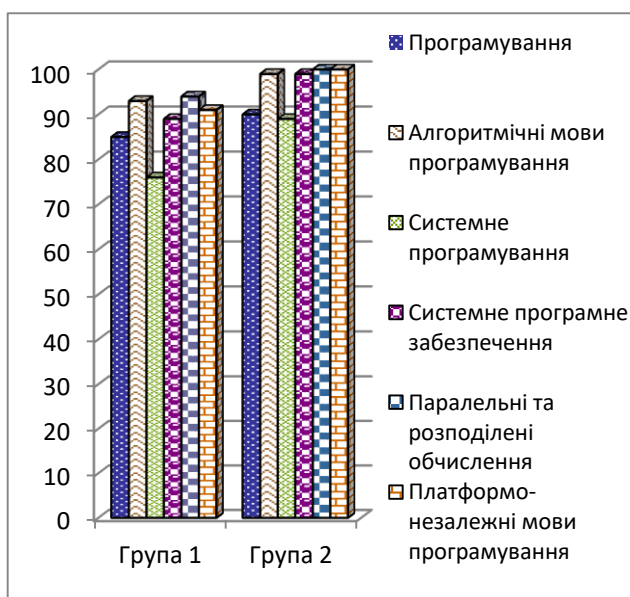


Рис. 7. Діаграма успішності навчальних результатів

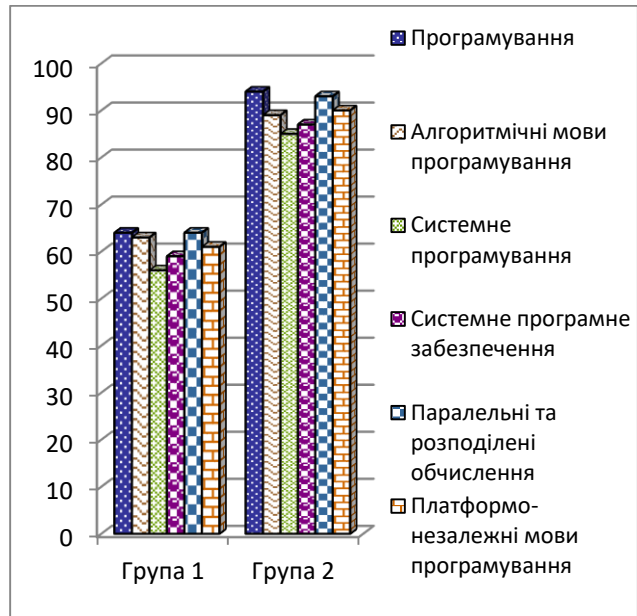


Рис. 8. Діаграма якості навчальних результатів

Отже, як видно з діаграм успішності та якості навчальних результатів, і успішність, і якість результатів навчання суттєво відрізняються для груп студентів, які навчалися за традиційним підходом та з використанням візуалізації і гейміфікації. І успішність, і якість результатів навчання групи студентів, які навчалися з використанням візуалізації та гейміфікації, значно вищі, ніж в студентів групи 1. Причому, якщо успішність навчальних результатів студентів групи 2 є вищою на 5-10% за різними навчальними дисциплінами, то якість результатів навчання студентів групи 2 є вищою на 26-30%.

Отже, проведений експеримент підтвердив позитивну роль візуалізації та гейміфікації у вивченні засад алгоритмізації та програмування, а саме: підвищення ефективності засвоєння навчального матеріалу, підвищення мотивації до навчання, зростання якості та результативності навчання, стимулювання продуктивної навчальної діяльності.

Висновки. В навчальному процесі спеціальності «Комп'ютерна інженерія» ХНУ викладачами кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування активно використовуються візуалізація та гейміфікація при викладанні навчальних дисциплін, пов'язаних з алгоритмізацією та програмуванням, з метою надання якісних знань, формування професійних навичок, формування креативного підходу до вирішення задач, навчання роботі у команді та креативності, формування здатності швидко орієнтуватись у мінливих умовах сьогодення.

Проведено експеримент з навчання студентів за різними підходами – за традиційним підходом та з використанням візуалізації та гейміфікації. Отримані під час такого експерименту результати підтверджують гіпотезу про вагому роль візуалізації та гейміфікації в підготовці ІТ-фахівців, зокрема, при формуванні алгоритмічного стилю мислення та навичок програмування.

Список літератури

- Ткаченко О. Гейміфікація освіти: формальний і неформальний простір. *Актуальні питання гуманітарних наук*. Дрогобич: Дрогобицький державний педагогічний університет імені Івана Франка, 2015. № 11. С. 303–309.
- Візуалізація навчальної інформації*. URL: http://phys.ipko.kubg.edu.ua/?page_id=662 (дата звернення: 14.05.2018).
- Семеніхіна О. В., Друшляк М. Г. Візуалізація знань як актуальний запит інформаційного суспільства до сфери освіти. *Збірник праць Всеукраїнської науково-практичної конференції «Використання інноваційних технологій в процесі підготовки фахівців – 2016»*. Вінниця: ВНТУ, 2016. С. 17–19.
- Поморова О. В., Говорущенко Т. О., Побережний С. Ю., Магдін В. В. Трансфер знань та технологій на прикладі підтримки реалізації студентських стартапів. *Електротехнічні та комп'ютерні системи*. Одеса: ОНПУ, 2016. № 22 (98). С. 384–391.
- Федоренко С. Грамотність як комплексний педагогічний феномен у вищій освіті США. *Вища освіта України*. Київ: Інститут вищої освіти НАПН України, 2014. № 3. С. 97–102.
- Магалашвілі В. В., Бодров В. Н. Ориентированная на цели визуализация знаний. *Образовательные технологии и общество*. Казань: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский национальный исследовательский технологический университет», 2008. № 11. Том 1. С. 420–433.
- A Periodic Table of Visualization Methods*. URL: http://www.visual-literacy.org/periodic_table/periodic_table.html (дата звернення: 14.05.2018).
- Burke B. *Gartner Redefines Gamification*. URL: https://blogs.gartner.com/brian_burke/2014/04/04/gartner-redefines-gamification/ (дата звернення: 14.05.2018).
- Lahri P. *Games VS Game-based Learning VS Gamification*. URL: <https://www.upsidelearning.com/blog/index.php/2015/05/21/games-vs-game-based-learning-vs-gamification/> (дата звернення: 14.05.2018).
- Инфографика: Геймификация образования*. URL: <http://www.ed-today.ru/infografika/38-infografika-gejmifikatsiya-obrazovaniya> (дата звернення: 14.05.2018).
- Games, Simulations, and Tools for Playful, Powerful Learning*. URL: <https://education.mit.edu/> (дата звернення: 14.05.2018).
- Mindstorms EV3 Software*. URL: <https://education.lego.com/en-us/downloads/mindstorms-ev3/software> (дата звернення: 14.05.2018).
- Vizualizatsiya navchalnoyi informatsiyi* [Visualization of educational information]. Available at: http://phys.ipko.kubg.edu.ua/?page_id=662 (accessed 14.05.2018).
- Semenikhina O. V., Drushlyak M. G. Vizualizatsiya znan' yak aktualnyi zapyt informatsiyonogo suspil'stva do sferi osviti [Visualization of knowledge as an actual request of the information society to the field of education]. *Zbirnyk prats Vseukrayinskoyi naukovo-praktychnoyi konferentsiyi "Vykorystannya innovatsiynykh tekhnologiy v protsesi pidgotovki fakhivtsiv–2016"* [Proceedings of All-Ukrainian scientific and practical conference "Using the Innovative Technologies in the Process of Specialist Training–2016"]. Vinnitsya, VNTU Publ., 2016, pp. 17–19.
- Pomorova O. V., Hovorushchenko T. O., Poberezhnyi S. Yu., Magdin V. V. Transfer znan' ta tekhnologiy na prykladi pidtrymky realizatsii studentskih startapiv [Transfer of knowledge and technologies on the example of support of the implementation of student start-ups]. *Elektrotekhnichni ta komp'uterni sytemy* [Electrical and computer systems]. Odessa, ONPU Publ., 2016, no. 22 (98), pp. 384–391.
- Fedorenko S. Gramotnist' yak kompleksnyi pedagogichnyi fenomen u vyshchii osviti SSHA [Literacy as a comprehensive pedagogical phenomenon in higher education in the USA]. *Vyshcha osvita Ukrainy* [Higher education of Ukraine]. Kyiv, Institute of Higher Education of the National Academy of Pedagogical Sciences of Ukraine Publ., 2014, no. 3, pp. 97–102.
- Magalashvili V. V., Bodrov V. N. Orientirovannaya ns tseli vizualizatsiya znaniy [Goal-oriented visualization of knowledge]. *Obrazovatelnie tekhnologii i obshchestvo* [Educational technologies and society]. Kazan', Federal State Budget Educational Institution of Higher Education "Kazan National Research Technological University" Publ., 2008, no. 11, vol. 1, pp. 420–433.
- A Periodic Table of Visualization Methods*. Available at: http://www.visual-literacy.org/periodic_table/periodic_table.html (accessed 14.05.2018).
- Burke B. *Gartner Redefines Gamification*. Available at: https://blogs.gartner.com/brian_burke/2014/04/04/gartner-redefines-gamification/ (accessed 14.05.2018).
- Lahri P. *Games VS Game-based Learning VS Gamification*. Available at: <https://www.upsidelearning.com/blog/index.php/2015/05/21/games-vs-game-based-learning-vs-gamification/> (accessed 14.05.2018).
- Infograpika. Geimifikatsiya obrazovaniya* [Infographics: Gamification of education]. Available at: <http://www.ed-today.ru/infografika/38-infografika-gejmifikatsiya-obrazovaniya> (accessed 14.05.2018).
- Games, Simulations, and Tools for Playful, Powerful Learning*. Available at: <https://education.mit.edu/> accessed 14.05.2018).
- Mindstorms EV3 Software*. Available at: <https://education.lego.com/en-us/downloads/mindstorms-ev3/software> (accessed 14.05.2018).

References (transliterated)

- Tkachenko O. Geimifikatsiya osviti: formalnyi i neformalnyi prostir [Gamification of education: formal and informal space]. *Aktualni pytannya humanitarnykh nauk* [Actual issues of humanities]. Drohobych, Drohobych State Pedagogical University named after Ivan Franko Publ., 2015, no. 11, pp. 303–309.

Надійшла (received) 25.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Говорущенко Тетяна Олександрівна (Говорущенко Татьяна Александровна, Novorushchenko Tetiana Oleksandrivna) – кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, доцент. Хмельницький національний університет, завідувач кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування; м. Хмельницький, Україна; ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7942-1857>; e-mail: tat_yana@ukr.net

В. П. АНДРІЄВСЬКИЙ, Ю. В. МАКСИМ'ЮК, С. В. МИЦЮК, С. О. ПИСКУНОВ

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕВОЛЮЦІЇ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ І ВИЗНАЧЕННЯ РОЗРАХУНКОВОГО РЕСУРСУ МАСИВНИХ ЕЛЕМЕНТІВ ВІСЕСИМЕТРИЧНИХ КОНСТРУКЦІЙ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ УНІВЕРСАЛЬНОГО СКІНЧЕННОГО ЕЛЕМЕНТУ

Математичне моделювання процесів континуального руйнування в умовах довготривалої повзучості на основі МСЕ являє собою досить складну задачу, ефективність розв'язання якої залежить від повноти бібліотеки скінченно-елементної бази і алгоритмів розв'язання систем нелінійних рівнянь, а також від організації програмного забезпечення. За основу процедури отримання скінченно-елементних розв'язувальних співвідношень покладені основні принципи моментної схеми скінченних елементів (МССЕ). На відміну від загальноприйнятих підходів використання МССЕ передбачає, крім задання закону розподілення переміщень, незалежне подання деформацій у вигляді рядів Маклорена. В основу алгоритму розв'язання системи нелінійних рівнянь прийнято метод інтегрування по параметру навантаження, причому для отримання достовірних результатів передбачається його послідовне зменшення. Точність розв'язання системи нелінійних рівнянь на кожному кроці по параметру навантаження визначається порівнянням величини суми квадратів вузлових реакцій і суми квадратів вузлових значень зовнішніх навантажень. В якості вихідних співвідношень прийняті рівняння термов'язкопружнопластичності з урахуванням пошкодженості матеріалів. В основу побудови скінченно-елементної моделі об'єктів, покладено принцип використання квазірегулярної фрагментації, яка передбачає побудову загальної нерегулярної скінченно-елементної моделі на основі регулярних скінченно-елементних фрагментів. Це дозволяє суттєво оптимізувати загальну кількість невідомих. При розрахунку нових об'єктів збіжність результатів обґрунтовується шляхом послідовного збільшення параметрів сіткової моделі та зменшення величини кроку інтегрування за рахунок збільшення їх кількості в межах заданого інтервалу навантажень, а також збільшення точності розв'язку системи нелінійних рівнянь на кожному кроці. В даній роботі для обґрунтування достовірності результатів, отриманих на основі універсального скінченного елемента, проведено порівняння параметрів напружено-деформованого стану і параметру пошкодженості ω з даними, обчисленими на основі скінченних елементів загального типу з чисельним інтегруванням і елементів з інтегруванням в замкненому вигляді.

Ключові слова: напружено-деформований стан, повзучість, параметр пошкодженості, скінченний елемент, ресурс.

В. П. АНДРИЕВСЬКИЙ, Ю. В. МАКСИМЮК, С. В. МИЦЮК, С. О. ПИСКУНОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ И ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСЧЕТНОГО РЕСУРСА МАССИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УНИВЕРСАЛЬНОГО КОНЕЧНОГО ЭЛЕМЕНТА

Математическое моделирование процессов континуального разрушения в условиях длительной ползучести на основе МКЭ представляет собой достаточно сложную задачу, эффективность решения которой зависит от полноты библиотеки конечно-элементной базы и алгоритмов решения систем нелинейных уравнений, а также от организации программного обеспечения. В основу процедуры получения конечно-элементных разрешающих соотношений положены основные принципы моментной схемы конечных элементов (МСКЭ). В отличие от общепринятых подходов использование МСКЭ предусматривает, помимо выбора закона распределения перемещений, независимое представление деформаций в виде рядов Маклорена. В основе алгоритма решения системы нелинейных уравнений принят метод интегрирования по параметру нагрузки, причем для получения достоверных результатов предполагается последовательное уменьшение шага интегрирования. Для оптимизации дискретных моделей МКЭ использован подход, основанный на начальной фрагментации расчетной модели. Точность решения системы нелинейных уравнений на каждом шаге по параметру нагрузки определяется сравнением величины суммы квадратов узловых реакций и суммы квадратов узловых значений внешних нагрузок. В качестве исходных соотношений приняты уравнения термовязкоупругопластичности с учетом повреждаемости материалов. В основании построения конечно-элементной модели объектов положен принцип использования квазирегулярной фрагментации, которая предусматривает построение общей нерегулярной конечно-элементной модели на основе регулярных конечно-элементных фрагментов. Это позволяет существенно оптимизировать общее количество неизвестных. При расчете новых объектов сходимость результатов обосновывается путем последовательного увеличения параметров сеточной модели, уменьшением величины шага интегрирования за счет увеличения их количества в пределах заданного интервала нагрузок, а также увеличением точности решения системы нелинейных уравнений на каждом шаге. В данной работе для обоснования достоверности результатов, полученных на основе универсального конечного элемента, проведено сравнение параметров напряженно-деформированного состояния и параметра повреждаемости ω с результатами, полученными на основе конечных элементов общего типа с численным интегрированием и элементов с интегрированием в замкнутом виде.

Ключевые слова: напряженно-деформированное состояние, ползучесть, параметр повреждаемости, конечный элемент, ресурс.

V. P. ANDRIIEVSKIY, Y. V. MAXIMYUK, S. V. MITSYUK, S. O. PISKUNOV

RESEARCH OF EVOLUTION OF THE STRESS STRAIN AND DEFINITION OF THE ESTIMATED LIFE-TIME OF MASSIVE STRUCTURE ELEMENTS USING OF THE UNIVERSAL FINITE ELEMENT

Mathematical modeling of the continual fracture processes under long creep conditions on the basis of FEM is a rather complex problem. The efficiency of solving of this problem depends on the completeness of the finite element library and the algorithms for solving systems of nonlinear equations, as well as on the software organization. The main principles of the moment scheme of finite elements (MSFE) is the base for procedure of obtaining of finite-element solving relationships. In contrast to the generally accepted approaches the use of MSFE provides an independent representation of deformations in the form of Maclaurin series in addition to the choose of the law of displacements distribution. At the base of the algorithm for solving a system of nonlinear equations, the method of integration over the load parameter is adopted. It is assumed to reduce an integration step consecutively to obtain reliable results. To optimize discrete FEM models, an approach based on the initial fragmentation of the computational model was used. The accuracy of solving of a system of nonlinear equations at each step of the load parameter is determined by comparing the sum of the squares of the nodal reactions and the sum of the squares of the nodal values of the external loads. The equations of termoviscolastoplastic deformation taking into account the damage of materials are taken as initial relations. The principle of using of quasiregular fragmentation which involves constructing a general irregular finite element model based on regular finite element fragments is basis of the procedure of constructing the finite element model of objects under consideration. This make it possible to optimize substantially the total number of unknowns.

© В. П. Андрієвський, Ю. В. Максим'юк, С. В. Мицюк, С. О. Пискунов, 2018

When calculating of a new objects, the convergence of the results is justified by a sequential increase of the parameters of the mesh model, a decrease of integration step value due to an increase of their number within a given range of loads, and an increase of the accuracy of solving of nonlinear equations system at each step. In order to justify the reliability of the results, obtained on the basis of the universal finite element, the parameters of the stress-strain state and the damage parameter ω were compared with data calculated on the basis of finite elements of a general type with numerical integration and elements with integration in a closed form.

Keywords: stress strained state, creep, damage parameter, finite element, life-time.

Вступ. Опис процесу деформування в умовах повзучості із використанням скалярного параметра пошкодженості матеріалу здійснено в роботах вітчизняних [1–10] та багатьох зарубіжних вчених [11–18]. При цьому в [6, 8, 14] відзначено збіг результатів розрахунку із використанням параметра пошкодженості з експериментальними даними визначення напружено-деформованого стану і часу до руйнування. В переважній більшості з перелічених робіт розглянуті одноримірні, плоскі та вісесиметричні задачі, для розв'язання деяких з них використовується МСЕ. Розгляд із використанням МСЕ невісесиметричних задач для тіл обертання і просторових задач здійснений в дуже обмеженій кількості робіт [2, 19, 20]. Тому розв'язання таких задач є важливою проблемою.

Моделювання процесу експлуатаційного навантаження ротора парової турбіни. Диск ротора парової турбіни є масивним вісесиметричним тілом з центральним наскрізним отвором та ободом для закріплення бандажу з лопатками (рис. 1, а). Сили, що впливають на диск обумовлено його обертанням з частотою $n_0=3\ 000$ об/хв і складаються із рівномірно розподіленого по площині бандажного обода S поверхневого навантаження інтенсивністю 68 МПа, що моделює вплив лопаток, і масових сил, що розподілені по об'єму диска. При побудові скінченноелементної моделі розрахункова область була розділена на чотири фрагменти.

Варіант сітки показаний на рис. 1, б (товсті лінії відповідають границям фрагментів). Для дослідження збіжності розв'язку виконано порівняння отриманого розподілення інтенсивності нормальних напружень σ_i вздовж радіуса ротора, на якому σ_i досягає максимальних значень (рис. 2, в, лінія А–А), вздовж концентратора напружень – галтелі (на відстані 2,5 мм від поверхні – рис. 2, в, лінія $K_1 - K - K_2$), а також вздовж перерізу, що лежить на відстані 63 мм від осі ротора і є паралельним до неї (рис. 2, в, лінія В–В).

Масова сила dP , що діє на елементарний об'єм матеріалу dV , що обертається навколо осі з частотою n_0 і розташований на відстані $R = z^2$ від осі обертання, обчислюється за формулою

$$dP = \rho w^2 R dV ,$$

де ρ – щільність матеріалу диску, $\rho = 7850$ кг/м³; w – кутова швидкість обертання диску, $w = \pi n_0 / 30$.

Результати визначення напружено-деформованого стан подані у вигляді величин інтенсивності напружень σ_i , отриманих при використанні просторових і універсальних скінченних елементів (рис. 2). Як видно, спостерігається повне співпадіння результатів визначення σ_i на основі обох видів скінченних елементів [21, 22]. В роботі [23] викладений алгоритм розв'язання систем нелінійних рівнянь, який використовується в даній роботі.

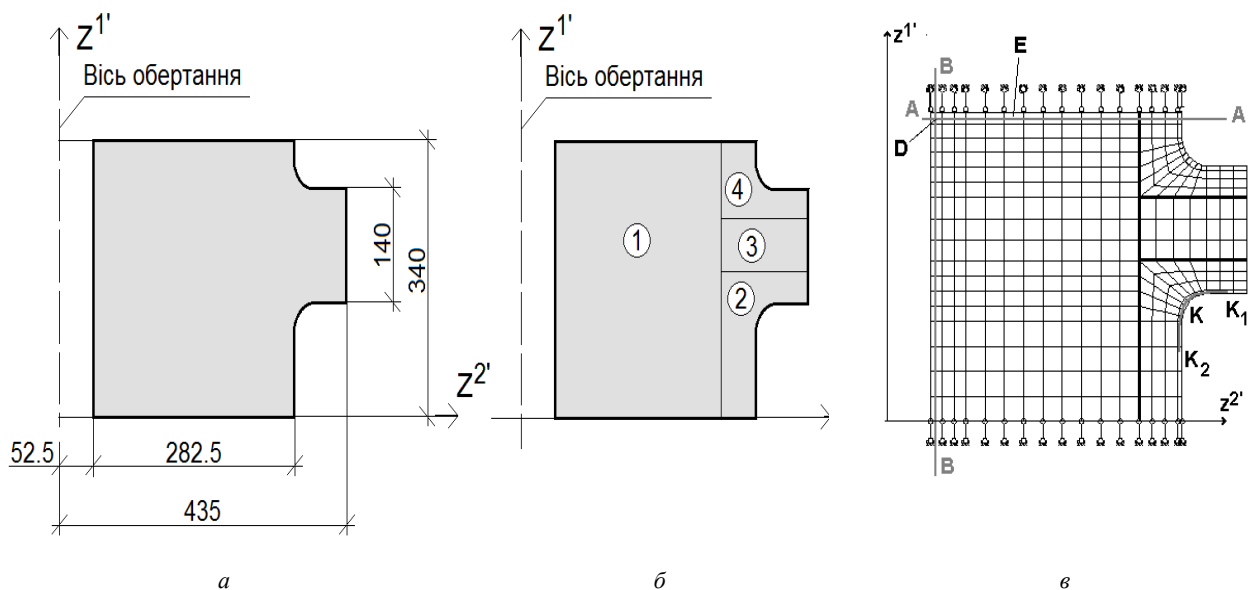


Рис. 1. Диск ротора парової турбіни (а – поперечний переріз; б – фрагментація розрахункової моделі; в – скінченно елементна модель)

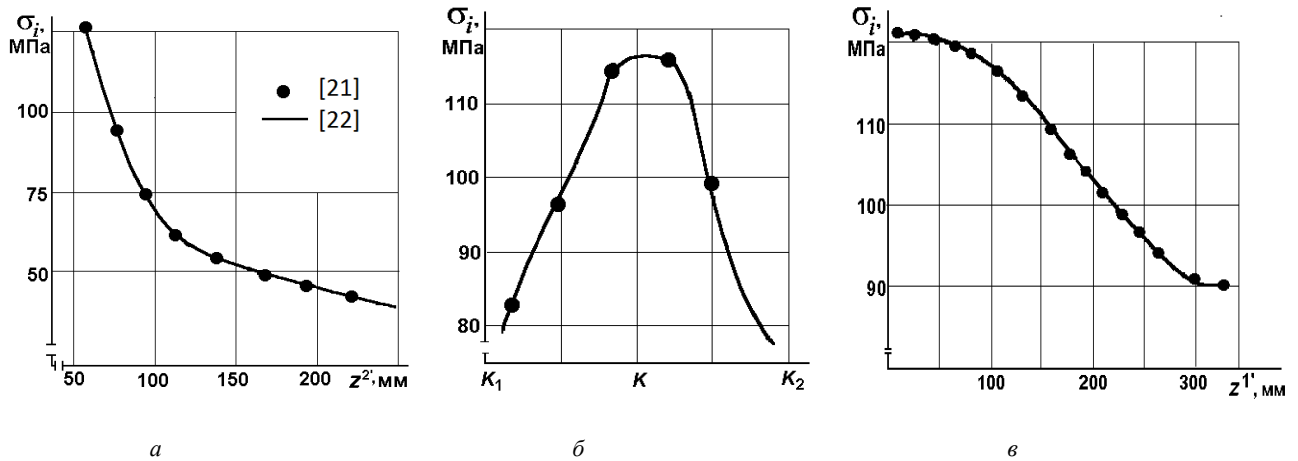


Рис. 2. Збіжність інтенсивності нормальних напружень в початковий момент часу

Для опису деформування в умовах повзучості з урахуванням накопичення пошкодженості матеріалу застосовано рівняння

$$\xi_i^c = A \left(\frac{\sigma_i}{1 - c\omega} \right)^n t^m, \quad \frac{\partial \omega}{\partial t} = B \left[\frac{(1 - \alpha)\sigma_i + \alpha\sigma_1}{1 - \omega} \right],$$

де $A = 3.523 \times 10^{-21} \text{МПа}^{-21} \text{год}^{-m-1}$, $c = 0.7$, $n = 5.51$, $m = -0.47$, $B = 6.555 \times 10^{-19} \text{МПа}^{-\Psi} \text{год}^{-1}$, $\alpha = 0.7$, $\Psi = 4.23$ – константи матеріалу.

Дослідження збіжності в залежності від величини кроку за часом Δt проводилось шляхом контролювання похибки визначення величин ω в найбільш пошкодженій зоні по закінченні першої стадії невстановленої повзучості, на II стадії встановленої повзучості, а також за величиною часу до початку руйнування.

На першому етапі проведено моделювання деформування на протязі 98.4 годин після прикладення навантаження. До цього часу закінчується I стадія невстановленої повзучості, що встановлено за величиною $\partial\omega/\partial t$.

Розрахунок проведений при змінному кроці за

часом. Розглянуто три послідовності кроків Δt (№№ 1–3), що поступово збільшуються від 0.04 до 15 год. в послідовності № 1, від 0.02 до 10 год. в № 2 і від 0.01 до 5 год. в № 3. Дослідження проведено в точках D і K (рис. 1), де спостерігаються локальні максимуми σ_i в початковий момент часу і, відповідно, максимуми значень ω на початковому етапі деформування. Як видно з наведених в табл. 1. результатів (величини ω – в чисельнику, похибка відносно до розв’язку, що отриманий при найменшому кроці за часом $\delta_\omega, \%$ – в знаменнику) похибка визначення пошкодженості для послідовності кроків № 2 лежить в межах 2 %

При подальшому моделюванні деформування на II стадії встановленої повзучості на часовому інтервалі 98.4–21 100 годин крок за часом було послідовно збільшено до $\Delta t=250, 500, 1\ 000$ і $2\ 000$ год. Як видно з наведених в табл. 2 результатів (значення ω в точці найбільших значень на радіусі A-A і відповідних похибок δ_ω , які обчислені відносно до розв’язку, отриманого при $\Delta t=250$ год.) точність визначення пошкодженості становить біля 2%.

Таблиця 1 – Збіжність параметру пошкодженості при повзучості в інтервалі 0–98.4 год.

		$t = 7.4$ год.	$t = 98.4$ год.
Точка	Крок Δt , № №	$\omega, 10^{-4} / \delta_\omega, \%$	
D	1	0.0380 / 7.4	0.242 / 3.8
	2	0.0350 / 1.1	0.248 / 1.4
	3	0.0354 / –	0.252 / –
K	1	0.0339 / 16.0	0.275 / 4.5
	2	0.0399 / 1.8	0.282 / 1.7
	3	0.0407 / –	0.287 / –

Таблиця 2. – Збіжність параметру пошкодженості в інтервалі від 98.4 год і часу до початку руйнування

t , год	8 600	21 100	$t_{руйн.год.} / \delta_{t\ руйн.}\%$
Δt_{max} , год	$\omega / \delta_\omega, \%$		
2000	–	0.04138 / 2.2	127 100 / 6.27
1000	0.01763 / 1.56	0.04194 / 2.28	122 100 / 2.09
500	0.01783 / 0.44	0.04264 / 0.65	121 100 / 1.25
250	0.01791 / –	0.04292 / –	119 600 / –

Розв'язання задачі на III стадії повзучості до початку руйнування проводилось із $\Delta t = 2\ 000, 1\ 000, 500, 250$ год., а також із поступовим зменшенням кроку за часом від 2 000 до 50 год. на інтервалі від 100 000 год. Отримані значення часу до початку руйнування (t руйн., табл. 2) свідчать, що результат, як у випадку застосування змінного кроку за часом, так і для постійних кроків ($\Delta t = 500, 1\ 000$) збігається з похибкою в межах 2%. В якості величини розрахункового ресурсу роботи деталі приймаємо значення, отримане при змінному кроці за часом (117 600 год.), припускаючи величину похибки визначення ресурсу в запас.

Отримані результати дозволяють спостерігати еволюцію напружено-деформованого стану ротора на протязі всього процесу деформування – зміння в часі розподілення інтенсивності нормальних напружень і параметру пошкодженості (рис. 3). Як видно з наведених на рис. 3 ізоліній розподілення σ_i , в момент $t = 0$ зона максимальних напружень розташована на внутрішньому радіусі диску (рис. 3, а). З часом, внаслідок розвинення деформацій повзучості, відбувається зменшення максимальних значень і перерозподіл напружень: так, на момент часу $t = 21\ 000$ максимальні напруження зменшилися вдвічі (рис. 3, б), а в момент, попереджуючий початок руйнування ($t = 117\ 000$ год., рис. 3, в) напружено-деформований стан диску є досить однорідним.

Початкове розташування зони максимальних

значень пошкодженості відповідає розташуванню зони максимальних напружень (рис. 4, а). З часом відбувається перерозподілення пошкодженості за рахунок перерозподілення напружень в процесі повзучості. Відповідно, зона максимальних значень пошкодженості поступово змінює розташування вздовж радіусу в напрямку від осі обертання.

До моменту часу біля 21 000 год. з початку деформування ця зона є досить великою і розташована всередині диска (рис. 4, б). На протязі всього залишку часу до початку руйнування значення пошкодженості в цій зоні є більшими, ніж в точках D і K (рис. 1, в), що відповідають максимумам напружень в початковий момент часу (рис. 4, г). З часом зона максимальних значень пошкодженості локалізується в точці E, де в момент часу $t = 117\ 600$ год. Значення пошкодженості досягають максимальних значень. (рис. 4, в). Таким чином, в даному випадку руйнування розпочинається з середини диска.

Зміння пошкодженості з часом в характерних точках проілюстровано на рис. 4, г. Як видно, до моменту часу біля 100 000 годин значення пошкодженості в точках D, K і E відрізняються приблизно в півтора рази. Після досягнення параметром пошкодженості в точці K значення 0.5 процес накопичення пошкодженості набуває лавиноподібного характеру і збільшення значень до критичних ($\omega=0.9$) відбувається за проміжок часу менше 10% від всього процесу навантаження.

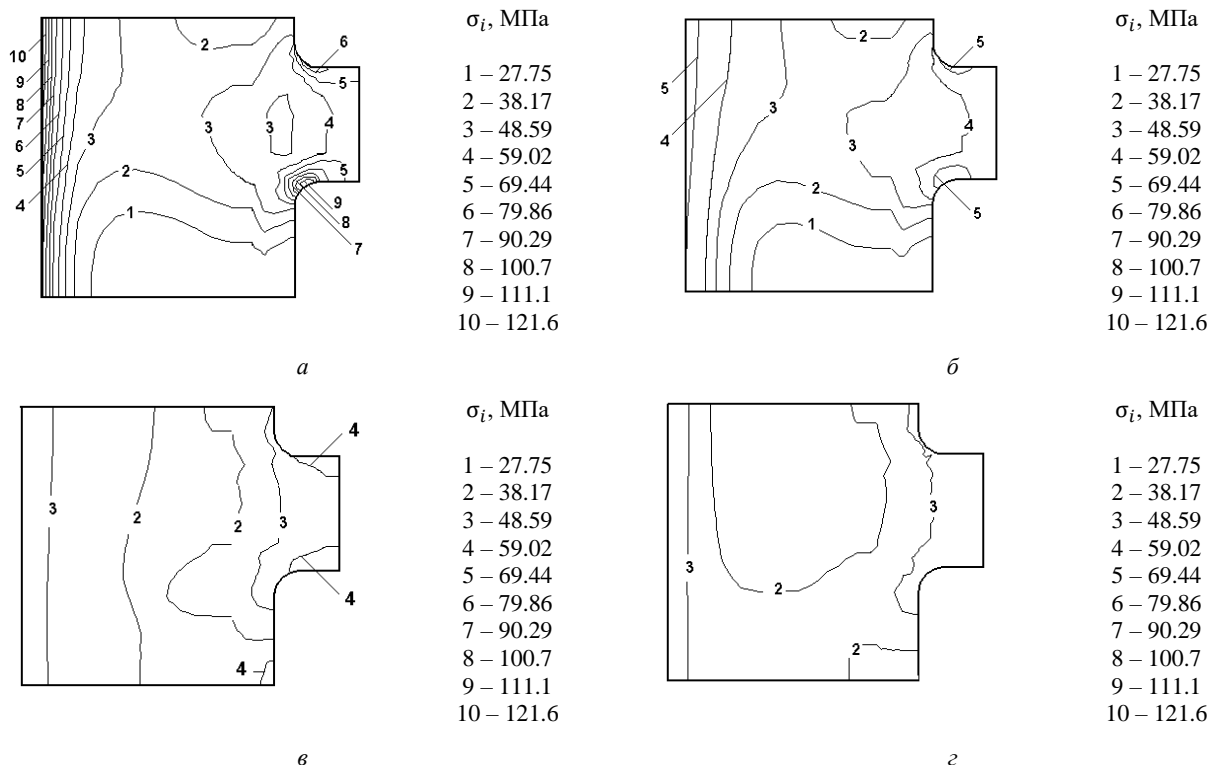


Рис. 3. Розподілення інтенсивності напружень в поперечному перерізі ротора (а – 0 год.; б – 98.4 год.; в – 21 100 год.; г – 117 600 год.)

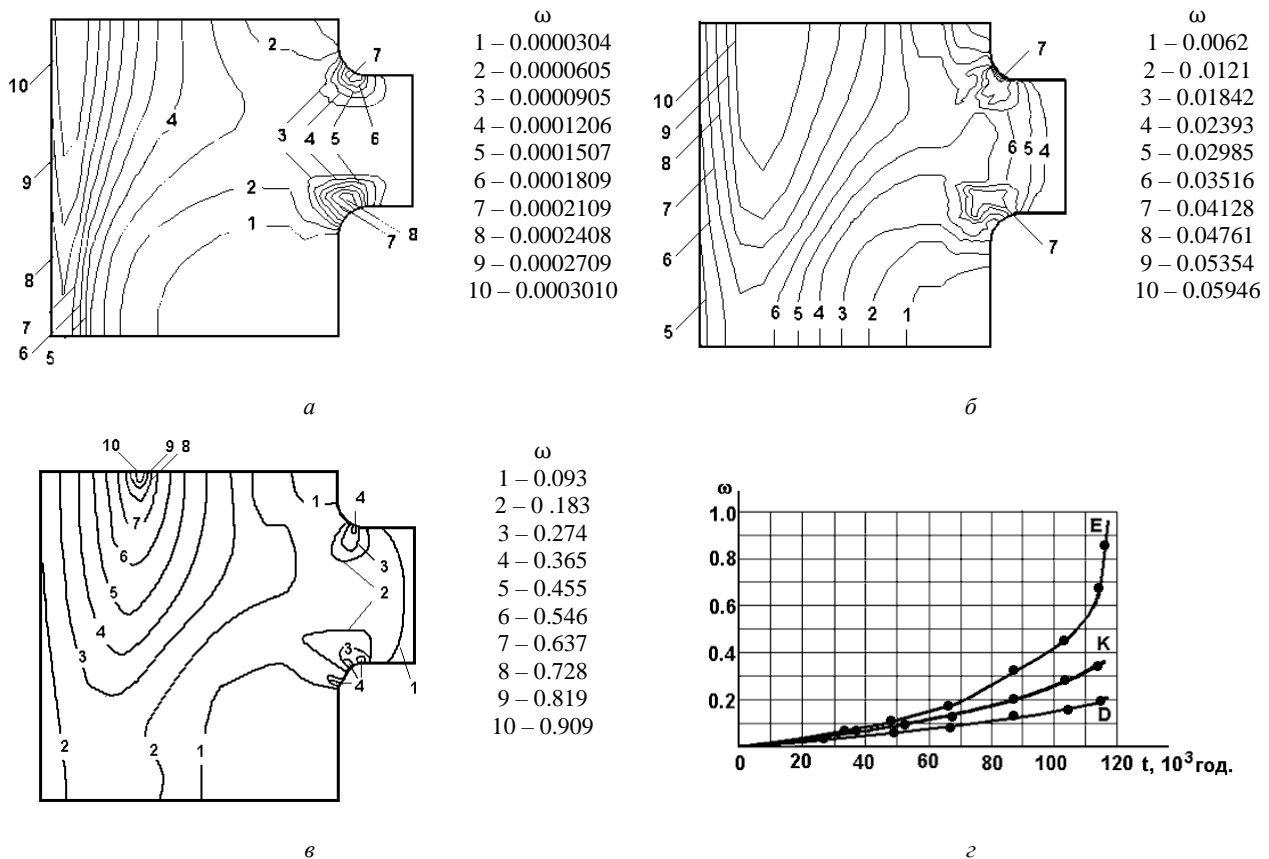


Рис. 4. Розподілення пошкодженості в поперечному перерізі ротора в залежності від часу (*a* – 98.4 год.; *b* – 21 100 год.; *c* – 117 200 год.) і змінення пошкодженості з часом (*z*)

Наведені в роботі [24] результати експериментальних досліджень процесу повзучості дисків під час їх обертання із великими швидкостями свідчать, що руйнування може розпочинатися з появи радіальних тріщин на торцевій поверхні диска як біля центрального отвору, так і посередині диска. При цьому розташування тріщин є різним для дисків із різних сталей. Необхідно відзначити, що в цьому експериментальному дослідженні навантаження обиралися таким чином, щоб забезпечити руйнування дисків в короткий термін (в межах 100–200 год.). Проведення масштабних експериментальних досліджень процесу деформування елементів енергетичного обладнання на базах, що відповідають розрахунковим строкам експлуатації не є можливим. Як свідчать отримані при розв'язку цієї задачі результати, розроблена методика дає змогу проводити чисельне моделювання процесів деформування реальних елементів конструкцій на базах, що відповідають термінам їх експлуатації із урахуванням ефекту перерозподілення напружень і визначенням розташування початкових зон руйнування.

Висновок. Наведені результати дозволяють стверджувати, що всі використані при розрахунку фрагмента цільникового ротору скінчені елементи (загального типу з чисельним інтегруванням і з інтегруванням в замкненому вигляді та універсальний SE) дозволяють отримувати практично тотожні результати визначення параметрів напружено-

деформованого стану при моделюванні тривалих процесів навантаження.

Список літератури

1. Анищенко Г. О., Бреславский Д. В., Морачковский О. К. Ползучесть и длительная прочность елочного замкового соединения ГТД при совместном действии статических и циклических нагрузок. *Проблемы прочности*. 1998. № 1. С. 34–41.
2. Биргер И. А., Даревский В. М., Демьянушко И. В. и др. *Расчет на прочность авиационных газотурбинных двигателей*. Москва: Машиностроение, 1984. 208 с.
3. Бреславский Д. В., Корытко Ю. Н. Ползучесть тел вращения при циклических теплосменах. *Методы розв'язування прикладних задач механіки деформівного твердого тіла*. 2009. Вип. 10. С. 41–47.
4. Галишин А. З., Шевченко Ю. Н. Определение осесимметрического упруго-пластического состояния тонких оболочек с учетом третьего инварианта девиатора напряжений. *Международный научный журнал «Прикладная механика»*. 2010. Т. 46, № 8. С. 19–28.
5. Гецов Л. Б. *Ползучесть и длительная прочность металлических материалов: учебн. пособие*. СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2005. 52 с.
6. Гигиняк Ф. Ф., Булах П. А. Прогнозирование долговечности теплоустойчивой стали 10ГН2МФА с учетом повреждаемости металла при пульсирующем растяжении в условиях сложного напряженного состояния. *Проблемы прочности*. 2012. № 5. С. 98–104.
7. Гигиняк Ф. Ф., Булах П. А. Усовершенствование упруговязкопластической модели деформирования с учетом повреждений. *Проблемы прочности*. 2012. № 4. С. 58–66.
8. Голуб В. П. Нелинейная механика континуальной поврежденности и ее приложение к задачам ползучести и

- усталости. *Международный научный журнал «Прикладная механика»*. 2000. Т. 36, № 3. С. 31–66.
9. Лелюх Ю. И. Анализ методов учета повреждаемости материала при термовязкоупругопластическом деформировании. *Международный научный журнал «Прикладная механика»*. 2007. Т. 43, № 12. С. 110–121.
 10. Шевченко Ю. Н. Деформационная теория термовязкоупругопластического деформирования ортотропного тела, учитывающая историю нагружения. *Проблемы прочности*. 2000. № 5. С. 74–84.
 11. Логинов О. А. Распространение фронта разрушения в толстостенной трубе в условиях ползучести. *Надежность и прочность машиностроительных конструкций: сб. науч. тр. Куйбышев: Куйбышев. политехн. ин-т*, 1988. С. 61–67.
 12. Локощенко А. М., Назаров В. В. Длительная прочность металлов при равноосном плоском напряженном состоянии. *Прикладная механика и техническая физика*. 2009. Т. 50, № 4. С. 150–157.
 13. Муравченко Ф. М. Актуальные проблемы динамики, прочности и надежности авиадвигателей. *Вибрації в техніці і технологіях*. 2004. № 6 (38). С. 2–4.
 14. Харченко В. В. *Моделирование процессов высокоскоростного деформирования материалов с учетом вязкопластических эффектов*. К.: Логос, 2009. 280 с.
 15. Chen G. G., Hsu T. R. The role of plastic strains in creep crack growth. *Eng. Fracture Mechanics*. 1991. Vol. 39, № 3. P. 493–506.
 16. Jakowluk A. *Procesy pelzania i zmecczenia w materialach*. Warszawa: Wyd. Nauk. Tech., 1993. 484 p.
 17. Murakami S., Sanomura Y. Creep and damage of cooper under multiaxior states of stress. *Plasticity Tday*. London: Elsevier, 1985. P. 535–551.
 18. Nishihara T., Yamada N. Damage mechanic correlation for high-cycle loading condition. *Fac. Enineering*. Kyoto Univ. 1956, № 3. P. 175–213.
 19. Мельников В. В. Температурные напряжения в упругой сфере, содержащей конические вырезы. *Прикладная механика и техническая физика*. 2009. Т. 50, № 6. С. 161–164.
 20. Русинко А. Н. Аналітичний опис повзучості попередньо деформованого матеріалу. *Машинознавство*. 2004. № 1. С. 13–16.
 21. Гуляр О. І., Пискунов С. О., Солодей І. І. та ін. Ефективність моментної схеми скінчених елементів (МССЕ) в задачах згину та з концентраторами. *Опір матеріалів і теорія споруд*. 2012. Вип. 89. С. 143–157.
 22. Максим'юк Ю. В. Розрахункові співвідношення універсального скінченого елемента на основі моментної схеми скінчених елементів. *Опір матеріалів і теорія споруд*. 2015. Вип. 94. С. 244–251.
 23. Гуляр О. І., Пискунов С. О., Максим'юк Ю. В. Алгоритм розв'язання геометрично нелінійної задачі в'язкопружнопластичного деформування двовимірних тіл. *Опір матеріалів і теорія споруд*. 2009. Вип. 83. С. 44–62.
 24. Василенко Г. С. Условие разрушения неравномерно нагретых вращающихся дисков. *Труды ЦНИИТМАШ*. 1962, № 30. С. 5–18.
- References (transliterated)**
1. Anyshchenko H. O., Breslavskiy D. V., Morachkovskiy O. K. Polzuchest y dlytelnaia prochnost elochnoho zamkovoho soedyneniya lopatki HTD pry sovместnom deistvyy statycheskykh y tsyklycheskykh nahruzok [Creep and long-time durability of fir-tree interlock of gas turbine blade under the united action of static and cyclic loads]. *Problemy prochnosti* [Strength of Materials]. 1998, no.1, pp. 34–41.
 2. Byrher Y. A., Darevskiy V. M., Demianushko Y. V. et al. *Raschet na prochnost avyatsyonnykh hazoturbynykh dvyhatelei* [Calculation on durability of aviation turbo-engines]. Moscow, Mashynostroeye Publ. 1984. 208 p.
 3. Breslavskiy D. V., Korytko Yu. N. Polzuchest tel vrashcheniya pry tsyklycheskykh teplosmenakh [Creep of bodies of rotation under cyclic warm changing]. *Metody rozv'язuvannia prykladnykh zadach mekhaniky deformivnoho tverdogo tila* [Methods for solving of applications of the solid body]. 2009, issue 10, pp. 41–47.
 4. Halysyn A. Z., Shevchenko Yu. N. Opredelenye osesymmetrychnoho upruho-plastycheskoho sostoianiya tonkykh obolochek s uchetom treteho ynvaryanta devyatora napriazheniy nahruzok [Determination of the axisymmetrical elasto-plastic state of thin shells taking into account the third invariant of stress deviator]. *Prikladnaja mekhanika* [International Applied Mechanics]. 2010, vol. 46, no. 8, pp. 19–28.
 5. Hetsov L. B. *Polzuchest y dlytelnaia prochnost metallycheskykh materyalov* [Creep and long-time durability of metallic materials. Manual]. Saint Petersburg, Yzd-vo Polytekh. Un-ta Publ, 2005. 52 p.
 6. Hyhyniak F. F., Bulakh P. A. Uovershenstvovanye upruhoviazkoplastycheskoi modeli deformirovaniya s uchetom povrezhdeniy [Improvement of elasto-viscoplastic model of deformation with an account of damage]. *Problemy prochnosti* [Strength of Materials]. 2012, no. 4, pp. 58–66.
 7. Hyhyniak F. F., Bulakh P. A. Prohnozyrovanye dolhovechnosti teploustoichyvoi staly 10HN2MFA s uchetom povrezhdaemosti metalla pry pulsyruishchem rastiazhenyy v usloviakh slozhnoho napriazhennoho sostoianiya [Prognostication of longevity of “10ГН2МФА” thermostable steel taking into account of metal damage at pulsating tension in the conditions of the difficult stress state]. *Problemy prochnosti* [Strength of Materials]. 2012, no. 5, pp. 98–104.
 8. Holub V. P. Nelyneinaia mekhanika kontynualnoi povrezhdenosti y ee prylozhenye k zadacham polzuchesty y ustalosti [Nonlinear mechanics of continual damage and its application to the tasks of creep and fatigue]. *Prikladnaja mekhanika* [International Applied Mechanics]. 2000, vol. 36, no. 3, pp. 31–66.
 9. Leliukh Yu. Y. Analiz metodov ucheta povrezhdaemosti materyala pry termoviazkoprugoplastychem deformirovaniy [Analysis of methods for accounting of material damage during thermo-viscous elastically plastic deformation]. *Prikladnaja mekhanika* [International Applied Mechanics]. 2007, vol. , no. 12, pp. 110–121.
 10. Shevchenko Yu. N. Deformatsyonnaia teoriya termoviazkoprugoplastycheskoho deformirovaniya ortotropnoho tela, uchytivaiushchaia ystoriyu nahruzheniya [Deformation theory of thermoviscoelastic-plastic deformation of an orthotropic body, taking into account the loading history]. *Problemy prochnosti* [Strength of Materials]. 2000, no. 5, pp. 74–84.
 11. Lohynov O. A. Rasprostraneniya fronta razrusheniya v tolstostennoi tube v usloviakh polzuchesty [Distribution of fracture front in the thick-walled pipe under conditions of creep]. *Nadezhnost y prochnost mashynostroytelnykh konstruksiy: sb. nauch. tr. [Reliability and durability of machine-building structure]*. Kuibishev, Kujbyshev. politehn. in-t Publ., 1988, pp. 61–67.
 12. Lokoshchenko A. M., Nazarov V. V. Dlytelnaia prochnost metallov pry ravnoosnom ploskom napriazhenom sostoianyy polzuchesty [Long-time durability of metals at equiaxial plane stress state]. *Prikladnaja mekhanika y tehicheskaja fizyka* [Journal of Applied Mechanics and Technical Physics]. 2009, vol. 50, no. 4, pp. 150–157.
 13. Muravchenko F. M. Aktualnye problemy dynamiky, prochnosti y nadezhnosti avyadyhatelei [Actual problems of dynamics, durability and reliability of aero-engines]. *Vibratsii v tekhnitsi i tekhnologiiakh* [Vibrations in a technique and technologies magazine]. 2004, no. 6 (38), pp. 2–4.
 14. Kharchenko V. V. *Modelirovaniye protsessov vyaskoskorostnoho deformirovaniya materyalov s uchetom viazkoplastycheskykh effektov* [Design of processes of high-speed deformation of materials taking into account visco-plastic effects]. Kyiv, Lohos Publ., 2009. 280 p.
 15. Chen G. G., Hsu T. R. The role of plastic strains in creep crack growth. *Eng. Fracture Mechanics*. 1991, vol. 39, no. 3, pp. 493–506.
 16. Jakowluk A. *Procesy pelzania i zmecczenia w materialach*. [Processes of creep and hardening in materials].– Warszawa. : Wyd.Nauk.Tech., 1993. – 484 p.
 17. Murakami S., Sanomura Y. Creep and damage of cooper under multiaxior states of stress. *Plasticity Tday*. London, Elsevier Publ., 1985, pp. 535–551.
 18. Nishihara T., Yamada N. Damage mechanic correlation for high-cycle loading condition. *Fac. Enineering*. Kyoto Univ, 1956, no. 3, pp. 175–213.
 19. Melnykov V. V. Temperaturnye napriazheniya v upruhoi sfere, sodержashchei konycheskye vyrezy [Temperature stresses in a elastic sphere containing conical cuts]. *Prikladnaja mekhanika y tehicheskaja fizyka* [Journal of Applied Mechanics and Technical Physics]. 2009, vol. 50, no. 6, pp. 161–164.

20. Rusynko A. N. Analytychnyi opys povzuchosti poperedno deformovanoho materialu [Analytical description of creep of the preliminary deformed material]. *Mashynoznavstvo* [Engineering science]. 2004, no. 1, pp. 13–16.
21. Huliar O. I., Pyskunov S. O., Solodei I. I. et al. Efektyvnist momentnoi skhemy skinchenykh elementiv (MSSE) v zadachakh zghynu ta z kontsentroramy [Efficiency of moment scheme of finite element (MSFE) in the problem of bending and stress concentrators]. *Opir materialiv i teoriia sporud* [Strength of Materials and Theory of Structures]. 2012, issue 89, pp. 143–157.
22. Maksymiuk Yu. V. Rozrakhunkovi spivvidnoshennia universalnogo skinchenoho elementa na osnovi momentnoi skhemy skinchenykh elementiv [Solving relations of universal finite element on the basis of moment scheme of finite element]. *Opir materialiv i teoriia sporud* [Strength of Materials and Theory of Structures]. 2015, issue 94, pp. 244–251.
23. Huliar O. I., Pyskunov S. O., Maksymiuk Yu. V. Alhorytm rozv'iazannia heometrychno nelineinnoi zadachi viazkoprzhnoplachynoho deformuvannia dvovymirnykh til [Algorithm of decision of geometrically nonlinear problem of viscoelastoplasticity of two-dimensional bodies]. *Opir materialiv i teoriia sporud* [Strength of Materials and Theory of Structures]. 2009, issue 83, pp. 44–62.
24. Vasylychenko H. S. Uslovyie razrusheniia neravnomerno nahretkh vrashchaiushchykh diskov [Condition of destruction of the unevenly heated rotating disks]. *Trudi CNITMASH* [Proceedings of CNITMASH]. 1962, no. 30, pp. 5–18.

Надійшла (received) 05.05.2018

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Андрієвський Віктор Петрович (Андрієвский Виктор Петрович, Andriyevsky Andriievskiy Viktor Petrovich) – кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури, доцент кафедри будівельної механіки; м. Київ, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6172-8797>; e-mail: vandriievskiy@i.ua

Максим'юк Юрій Всеволодович (Максимюк Юрий Всеволодович, Maximyuk Yuriy Vsevolodovich) – кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури, доцент кафедри будівельної механіки; м. Київ, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5814-6227>; e-mail: maximyuk@ukr.net

Мицюк Сергій Вікторович (Мицюк Сергей Викторович, Mitsyuk Sergey Victorovich) – кандидат технічних наук, доцент, Київський національний університет будівництва і архітектури, доцент кафедри будівельної механіки; м. Київ, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6481-4036> e-mail: serewka@ukr.net

Пискунов Сергій Олегович (Пискунов Сергей Олегович, Piskunov Sergey Olegovich) – доктор технічних наук, професор, Київський національний університет будівництва і архітектури, професор кафедри будівельної механіки; м. Київ, Україна; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3987-0583>; e-mail: s_piskunov@ua.fm

ЗМІСТ

<i>Arslan B., Gamzayev R., Karaçuha E., Tkachuk M.</i> Algorithms and software solutions for SQL injection vulnerability testing in web applications	3
<i>Павленко Е. П., Лубенец С. В., Айвазов В. А.</i> Модели и показатели оценки качества программного обеспечения информационных систем	11
<i>Лециньський В. О., Лециньська І. О.</i> Використання принципів локальності та зв'язності контексту в рекомендаційних системах	16
<i>Чала О. В.</i> Розробка представлення знань на основі марківських логічних мереж в системі процесного управління	22
<i>Раскин Л. Г., Серая О. В., Парфенюк Ю. Л.</i> Метод поэлементной многокритериальной композиции оптимальных маршрутов в транспортных сетях	27
<i>Cherednichenko O., Melnyk K. V., Kirkin S. V., Sokolov D. V., Matveiev O. M.</i> Development of agent-oriented software components to retrieve the marketing information from the web	37
<i>Золотарьова І. О., Плеханова Г. О., Плоха О. Б.</i> Case Study: Розробка концепції корпоративного web-порталу банку «Credit Agricole»	45
<i>Gontar Y. M., Tkach K. V., Yena B. O., Vasylenko A. V.</i> Towards information system development for data extraction from web	53
<i>Говорушченко Т. О.</i> Роль візуалізації та гейміфікації у вивченні основ алгоритмізації та програмування	60
<i>Андрієвський В. П., Максим'юк Ю. В., Мицюк С. В., Пискунов С. О.</i> Дослідження еволюції напружено-деформованого стану і визначення розрахункового ресурсу масивних елементів вісесиметричних конструкцій із використанням універсального скінченного елемента	66

CONTENT

<i>Arslan B., Gamzayev R., Karaçuha E., Tkachuk M.</i> Algorithms and software solutions for SQL injection vulnerability testing in web applications	3
<i>Pavlenko E. P., Lubenec S. V., Ayvazov V. A.</i> Models and indicators for assessing the quality of information systems software	11
<i>Leshchynskiy V., Leshchynska I.</i> Using principles of locality and connectivity of the context in recommender systems	16
<i>Chala O. V.</i> Development of knowledge representation based on Markov logical networks in the business process management system	22
<i>Raskin L., Sira O., Parfeniuk Y.</i> Method of elements-by-elements multicriterial composition of optimal routes in transport networks	27
<i>Cherednichenko O., Melnyk K. V., Kirkin S. V., Sokolov D. V., Matveiev O. M.</i> Development of agent-oriented software components to retrieve the marketing information from the web	37
<i>Zolotaryova I. O., Plekhanova G. O., Plokh O. B.</i> Case Study: Розробка концепції корпоративного web-порталу банку «Credit Agricole»	45
<i>Gontar Y. M., Tkach K. V., Yena B. O., Vasylenko A. V.</i> Towards information system development for data extraction from web	53
<i>Hovorushchenko T. O.</i> Role of the Visualization and gamification in the study of the principles of algorithmization and programming	60
<i>Andriievskiy V. P., Maximyuk Y. V., Mitsyuk S. V., Piskunov S. O.</i> Research of evolution of the stress strain and definition of the estimated life-time of massive structure elements using of the universal finite element	66

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ВІСНИК НАЦІОНАЛЬНОГО ТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ «ХПІ».
СЕРІЯ: СИСТЕМНИЙ АНАЛІЗ, УПРАВЛІННЯ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ
ТЕХНОЛОГІЇ**

Збірник наукових праць

№ 22 (1298) 2018

Наукові редактори: Годлевський М. Д., д-р техн. наук, професор, НТУ «ХПІ», Україна
Куценко О. С., д-р техн. наук, професор, НТУ «ХПІ», Україна
Технічний редактор: Безменов М. І., канд. техн. наук, професор, НТУ «ХПІ», Україна

Відповідальний за випуск Обухова Г. Б., канд. техн. наук

АДРЕСА РЕДКОЛЕГІЇ: 61002, Харків, вул. Кирпичова, 2, НТУ «ХПІ».
Кафедра системного аналізу, управління та інформаційно-аналітичних технологій
Тел.: (057) 707-61-03, (057) 707-66-54; e-mail: bezmenov@kpi.kharkov.ua

Обл.-вид. № 11-18.

Підп. до друку 09.07.2018 р. Формат 60×84 1/8. Папір офсетний.
Друк офсетний. Гарнітура Таймс. Умов. друк. арк. 7,8. Облік.-вид. арк. 8,5.
Тираж 100 пр. Зам. № 87. Ціна договірна.

Видавничий центр НТУ «ХПІ». Свідоцтво про державну реєстрацію
суб'єкта видавничої справи ДК № 5478 від 21.08.2017 р.
61002, Харків, вил Кирпичова, 2

Друкарня «ФОП Пісня О. В.»
Свідоцтво про державну реєстрацію ВО2 № 248750 від 13.09.2007 р.
61002, Харків, вул. Гіршмана, 16а, кв. 21, тел. (057) 764-20-28
