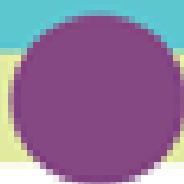


ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА СУСПІЛЬСТВО

INFORMATION TECHNOLOGY AND SOCIETY



ISSN 2786-5460 (Print)
ISSN 2786-5479 (Online)

МІЖРЕГІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ
INTERREGIONAL ACADEMY OF PERSONNEL MANAGEMENT



**НАУКОВІ ПРАЦІ
МІЖРЕГІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ
УПРАВЛІННЯ ПЕРСОНАЛОМ**

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА СУСПІЛЬСТВО**

**SCIENTIFIC WORKS
OF INTERREGIONAL ACADEMY
OF PERSONNEL MANAGEMENT**

**INFORMATION TECHNOLOGY
AND SOCIETY**

**Випуск 2 (4), 2022
Issue 2 (4), 2022**



**Видавничий дім
«Гельветика»
2022**

*Рекомендовано до друку Вченою радою
Міжрегіональної Академії управління персоналом
(протокол № 5 від 29 червня 2022 року)*

Інформаційні технології та суспільство / [головний редактор О. Попов]. – Київ : Міжрегіональна Академія управління персоналом, 2022. – Випуск 2 (4). – 118 с.

Журнал «Інформаційні технології та суспільство» є науковим рецензованим виданням, в якому здійснюється публікація матеріалів науковців різних рівнів у вигляді наукових статей з метою їх поширення як серед вітчизняних дослідників, так і за кордоном.

Редакційна колегія не обов'язково поділяє позицію, висловлену авторами у статтях, та не несе відповідальності за достовірність наведених даних і посилань.

Головний редактор: Попов О. О. – член-кор. НАН України, д-р техн. наук, професор, с.н.с., заступник директора з науково-організаційної роботи, Інститут геохімії навколишнього середовища Національної академії наук України.

Редакційна колегія:

Василенко М. Д. – д-р фіз.-мат. наук, проф., професор кафедри кібербезпеки, Національний університет «Одеська юридична академія»; **Горбов І. В.** – канд. техн. наук, с.н.с., старший науковий співробітник, Інститут проблем реєстрації інформації НАН України; **Дуднік А. С.** – д-р техн. наук, доц., доцент кафедри мережевих та інтернет технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка; **Євсєєв С. П.** – д-р техн. наук, професор кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця; **Зибін С. В.** – д-р техн. наук, доц., завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення, Національний авіаційний університет; **Кавун С. В.** – д-р екон. наук, канд. техн. наук, проф., завідувач кафедри комп'ютерних інформаційних систем та технологій, Міжрегіональна Академія управління персоналом; **Комарова Л. О.** – д-р техн. наук, с.н.с., директор Навчально-наукового інституту інформаційної безпеки та стратегічних комунікацій, Національна академія Служби безпеки України; **Мілов О. В.** – д-р техн. наук, професор кафедри кібербезпеки та інформаційних технологій, Харківський національний економічний університет імені Семена Кузнеця; **Охріменко Т. О.** – канд. техн. наук, старший науковий співробітник науково-дослідної лабораторії протидії кіберзагрозам в авіаційній галузі, Національний авіаційний університет; **Рудніченко М. Д.** – канд. техн. наук, доц., доцент кафедри інформаційних технологій, Державний університет «Одеська політехніка»; **Скуратовський Р. В.** – канд. фіз.-мат. наук, доц., доцент кафедри обчислювальної математики та комп'ютерного моделювання, Міжрегіональна Академія управління персоналом; **Супрун О. М.** – канд. фіз.-мат. наук, доц., доцент кафедри програмних систем і технологій, Київський національний університет імені Тараса Шевченка; **Табунщик Г. В.** – канд. техн. наук, проф., професор кафедри програмних засобів, Національний університет «Запорізька політехніка»; **Фомін О. О.** – д-р техн. наук, доц., професор кафедри комп'ютеризованих систем управління, професор кафедри прикладної математики та інформаційних технологій, Державний університет «Одеська політехніка»; **Хохлячова Ю. Є.** – канд. техн. наук, доц., доцент кафедри безпеки інформаційних технологій, Національний авіаційний університет; **Чолишкіна О. Г.** – канд. техн. наук, доц., директор Інституту комп'ютерно-інформаційних технологій та дизайну, Міжрегіональна Академія управління персоналом; **Чорний О. П.** – доктор технічних наук, професор, директор Навчально-наукового інституту електричної інженерії та інформаційних технологій, Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського; **Юдін О. К.** – д-р техн. наук, проф., директор центру кібербезпеки Навчально-наукового інституту інформаційної безпеки та стратегічних комунікацій, Національна академія Служби безпеки України; **Гопєєнко Віктор** – dr. sc. ing., проф., проректор з наукової роботи, директор навчальної програми магістратури «Комп'ютерні системи», Університет прикладних наук ISMA (Латвійська Республіка); **Leszczyna Rafal** – dr hab. inż., професор кафедри комп'ютерних наук у менеджменті, Гданський технологічний університет (Республіка Польща).

*Свідомо про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
«Інформаційні технології та суспільство» Серія КВ № 24815-14755Р від 27.04.2021 р.*

Відповідно до Наказу МОН України № 1290 від 30 листопада 2021 року (додаток 3) журнал включено до Переліку наукових фахових видань України (категорія Б) зі спеціальностей 121 – Інженерія програмного забезпечення, 122 – Комп'ютерні науки, 123 – Комп'ютерна інженерія, 124 – Системний аналіз, 125 – Кібербезпека, 126 – Інформаційні системи та технології.

Усі електронні версії статей журналу оприлюднюються на офіційній сторінці видання
<http://journals.maup.com.ua/index.php/it>

Статті у виданні перевірені на наявність плагіату за допомогою програмного забезпечення
StrikePlagiarism.com від польської компанії Plagiat.pl.

*Recommended for publication
by Interregional Academy of Personnel Management
(Minutes No. 5 dated 29 June 2022)*

Information Technology and Society / [chief editor Oleksandr Popov]. – Kyiv : Interregional Academy of Personnel Management, 2022. – Issue 2 (4). – 118 p.

Journal «Information Technology and Society» is a peer-reviewed scientific edition, which publishes materials of scientists of various levels in the form of scientific articles for the purpose of their dissemination both among domestic researchers and abroad.

Editorial board do not necessarily reflect the position expressed by the authors of articles, and are not responsible for the accuracy of the data and references.

Chief editor: Oleksandr Popov – Corresponding Member of NAS of Ukraine, Doctor of Engineering, Professor, Senior Research Scientist, Deputy Director for Scientific-Organizational Affairs, Institute of Environmental Geochemistry of the National Academy of Sciences of Ukraine.

Editorial Board:

Mykola Vasylenko – Doctor of Physics and Mathematics, Professor, Professor at the Department of Cybersecurity, National University «Odesa Law Academy»; **Ivan Horbov** – PhD in Engineering, Senior Research Associate, Senior Research Fellow, Institute for Information Recording of NAS of Ukraine; **Andrii Dudnik** – Doctor of Engineering, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Networking and Internet Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv; **Serhii Yevseiev** – Doctor of Engineering, Professor at the Department of Cybersecurity and Information Technologies, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics; **Serhii Zybin** – Doctor of Engineering, Associate Professor, Head of the Department of Software Engineering, National Aviation University; **Serhii Kavun** – Doctor of Economics, PhD in Engineering, Professor, Head of the Department of Computer Information Systems and Technologies Interregional Academy of Personnel Management; **Larysa Komarova** – Doctor of Engineering, Senior Research Scientist, Laureate of State Prize, Director of Educational-Scientific Institute of Information Security and Strategic Communications, National Academy of the Security Service of Ukraine; **Oleksandr Milov** – Doctor of Engineering, Professor at the Department of Cybersecurity and Information Technologies, Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics; **Tetiana Okhrimenko** – PhD in Engineering, Senior Research Scientist at the Scientific Research Laboratory for Countering Aviation Cyberthreats, National Aviation University; **Mykola Rudnichenko** – PhD in Engineering, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Information Technologies, Odessa Polytechnic State University; **Ruslan Skuratovskiy** – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Computational Mathematics and Computer Modeling, Interregional Academy of Personnel Management; **Olha Suprun** – PhD in Physics and Mathematics, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Software Systems and Technologies, Taras Shevchenko National University of Kyiv; **Halyna Tabunshchik** – PhD in Engineering, Professor, Professor at the Department of Software Tools, “Zaporizhzhia Polytechnic” National university; **Oleksandr Fomin** – Doctor of Engineering, Associate Professor, Professor at the Department of Computerized Control Systems, Professor at the Department of Applied Mathematics and Information Technologies, Odessa Polytechnic State University; **Yuliia Khokhlachova** – PhD in Engineering, Associate Professor, Senior Lecturer at the Department of Information Technology Security, National Aviation University; **Olha Cholyshkina** – PhD in Engineering, Associate Professor, Director of the Institute of Computer Information Technologies and Design, Interregional Academy of Personnel Management; **Oleksii Chornyi** – Doctor of Technical Sciences, Professor, Director of the Educational and Scientific Institute of Electrical Engineering and Information Technologies, Kremenchuk National University named after Mykhailo Ostrogradskyi; **Oleksandr Yudin** – Doctor of Engineering, Professor, Director of the Cybersecurity Center of the Educational-Scientific Institute of Information Security and Strategic Communications, National Academy of the Security Service of Ukraine; **Hopeienko Viktor** – dr. sc. ing., Professor, Vice Rector for Research, Director of the study programme “Computer systems”, ISMA University of Applied Sciences (Republic of Latvia); **Leszczyna Rafal** – dr hab. inż., Profesor, Katedra Informatyki w Zarządzaniu, Politechnika Gdańska (Republic of Poland).

*Print media registration certificate «Information Technology and Society»
series KV No. 24815-14755P dated 27.04.2021*

According to the Decree of MES No. 1290 (Annex 3) dated November 30, 2021, the journal was included in the List of scientific professional publications of Ukraine (category B) in specialties 121 – Software engineering, 122 – Computer sciences, 123 – Computer engineering, 124 – Systems analysis, 125 – Cybersecurity, 126 – Information systems and technologies.

All electronic versions of articles in the collection are available on the official website edition
<http://journals.maup.com.ua/index.php/it>

The articles were checked for plagiarism using the software
StrikePlagiarism.com developed by the Polish company Plagiat.pl.

© Interregional Academy of Personnel Management, 2022
© Copyright by the contributors, 2022

ЗМІСТ

Тетяна БАРБОЛІНА, Олена КРИВЦОВА, Олександр МАМОН МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ JAVASCRIPT ДЛЯ РОЗВИТКУ ІНДУСТРІЇ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ НАВЧАННЯ	6
Олександр БЕЗВЕРХИЙ, Олександр КУЦЕНКО ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ БІБЛІОТЕКИ REACT	13
Володимир БРОДКЕВИЧ, Валентин ЛЮДВІЧЕНКО ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ І МАШИННЕ НАВЧАННЯ В ГАЛУЗІ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я: ВИКЛИКИ І ПЕРСПЕКТИВИ	20
Микола ВАСИЛЕНКО, Станіслав ГОРБАЧЕНКО, Валерія СЛАТВІНСЬКА, Олена ЧЕПУРНА СЦЕНАРНЕ ПЛАНУВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ БЕЗПЕРЕРВНОГО БІЗНЕСУ: WEB-ТЕХНОЛОГІЇ (КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД)	29
Юлія КАЗИМИРЕНКО, Ігор МІХЕЛЄВ, Микола МАТВЄЄВ МЕТОДИ І МОДЕЛІ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ ГАЗОТУРБІННИХ КАМЕР ЗГОРЯННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СЕРЕДОВИЩА COMMON LISP	36
Богдана КАЛІНОВСЬКА, Олена НОСОВЕЦЬ, Людмила ДОБРОВСЬКА ПРОГРАМНИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ОЦІНКИ КАРДІОЛОГІЧНИХ ПАТОЛОГІЙ ПІСЛЯ ОПЕРАТИВНИХ ВТРУЧАНЬ	42
Любов КРЕСТЬЯНПОЛЬ ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПОЖИВЧОЇ ПОВЕДІНКИ НА ІНФОРМАЦІЙНУ КОМПОНЕНТУ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ	49
Олена КРИВОРУЧКО, Юлія КОСТЮК РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА БАЗІ SYSML	58
Антон МАЛЬЦЕВ АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДОСЯГНЕНЬ У ГАЛУЗІ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ, МАШИННОГО НАВЧАННЯ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ІНТЕЛЕКТУ	65
Олександр НЕСТЕРЕНКО, Світлана ПРОСКУРА ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ОСВІТНІХ ПРОГРАМ В ГАЛУЗІ ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	70
Дмитро ОЛЬХОВСЬКИЙ, Олена ОЛЬХОВСЬКА, Оксана ЧЕРНЕНКО, Тетяна ПАРФЬОНОВА, Тетяна ЧІЛІКІНА ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЕВКЛІДОВИХ КОМБІНАТОРНИХ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ ТОЧНИМИ ТА НАБЛИЖЕНИМИ МЕТОДАМИ	78
Пилип ПРИСТАВКА, Ольга ЧОЛИШКІНА, Олександр КОЗАЧУК, Дарина ЯРЕМЕНКО НЕЙРОМЕРЕЖЕВА АВТОМАТИЗАЦІЯ НАПОВНЕННЯ НАБОРУ ДАНИХ АЕРОФОТОЗЙОМКИ	88
Ольга ЧОЛИШКІНА, Дарина ЯРЕМЕНКО, Валентин ЛЮДВІЧЕНКО, Лариса КОМАРОВА, Володимир БРОДКЕВИЧ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧ НА ПОТОКОВОМУ ВІДЕОРЕДІ ЗА ДОПОМОГОЮ БІБЛІОТЕКИ OPENCV	100
Віталій ЧУБАЄВСЬКИЙ, Альона ДЕСЯТКО, Олена КРИВОРУЧКО, Валерій ЛАХНО, Дмитро КАСАТКІН, Андрій БЛОЗВА, Максим МІСЮРА ЗАСТОСУВАННЯ СППР У ЗАВДАННЯХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ	107

CONTENTS

Tetiana BARBOLINA, Olena KRYVTSOVA, Oleksandr MAMON THE POSSIBILITIES OF USING JAVASCRIPT FOR THE DEVELOPMENT OF THE MODERN EDUCATIONAL TOOLS' INDUSTRY	6
Oleksandr BEZVERKY, Oleksandr KUTSENKO THE EFFICIENCY OF USING THE REACT LIBRARY	13
Volodymyr BRODKYVCH, Valentin LIUDVICHENKO ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING IN HEALTHCARE: CHALLENGES AND TRENDS.....	20
Mykola VASYLENKO, Stanislav HORBACHENKO, Valeria SLATVINSKAYA, Olena CHEPURNA SCENARIO PLANNING AS A TOOL FOR CONTINUOUS BUSINESS: WEB-TECHNOLOGIES (INTEGRATED APPROACH)	29
Yuliia KAZYMYRENKO, Igor MYKHELIEV, Mykola MATVYEV METHODS AND MODELS FOR VISUALIZATION OF TEMPERATURE FIELD DISTRIBUTION OF GAS TURBINE COMBUSTION CHAMBERS USING COMMON LISP	36
Bohdana KALINOVSKA, Olena NOSOVETS, Liudmyla DOBROVSKA SOFTWARE APPLICATION FOR THE ASSESSMENT OF CARDIAC PATHOLOGIES AFTER SURGERY	42
Lyubov KRESTYANPOL EXPLORING THE INFLUENCE OF CONSUMER BEHAVIOR ON THE INFORMATION COMPONENT PRODUCT QUALITY MONITORING SYSTEM	49
Olena KRYVORUCHKO, Yuliia KOSTIUK DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR SUPPORTING DECISION BASED ON SYSML.....	58
Anton MALTSEV ANALYSIS OF MODERN ACHIEVEMENTS IN THE FIELD OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS, MACHINE LEARNING AND COMPUTATIONAL INTELLIGENCE	65
Oleksandr NESTERENKO, Svitlana PROSKURA COMPARATIVE ANALYSIS OF EDUCATIONAL PROGRAMS IN THE FIELD OF SOFTWARE ENGINEERING	70
Dmytro OLHOVSKIY, Olena OLKHOVSKA, Oksana CHERNENKO, Tatyana PARFONOVA, Tatyana CHILIKINA SOFTWARE PACKAGE FOR SOLVING EUCLIDEAN COMBINATORIAL OPTIMIZATION PROBLEMS WITH ACCURATE AND APPROXIMATE METHODS.....	78
Pylyp PRYSTAVKA, Olha CHOLYSHKINA, Olexandr KOZACHUK, Daryna YAREMENKO NEURAL NETWORK AUTOMATION OF FILLING THE DATA SET OF AERIAL DIGITAL IMAGES	88
Olha CHOLYSHKINA, Daryna YAREMENKO, Valentin LJUDVICHENKO, Larisa KOMAROVA, Volodymyr BRODKYVCH FACE RECOGNITION ON A STREAMING VIDEO SERIES USING THE OPENCV LIBRARY.....	100
Vitaliy CHUBAIEVSKYI, Alona DESIATKO, Olena KRYVORUCHKO, Valerii LAKHNO, Dmytro KASATKIN, Andrii BLOZVA, Maxim MISIURA APPLICATION OF DSS IN THE TASKS OF ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC PROVISION OF INFORMATION PROTECTION	107

УДК 376.016:811.111-056.2/.3]:37.091.39:004.774
DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.1>

Тетяна БАРБОЛІНА

доктор фізико-математичних наук, доцент, декан фізико-математичного факультету, професор кафедри математичного аналізу та інформатики, Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка, вул. Остроградського, 2, Полтава, Україна, індекс 36000 (tm-b@ukr.net)

ORCID: 0000-0002-4596-7907

Олена КРИВЦОВА

кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри математичного аналізу та інформатики, Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка, вул. Остроградського, 2, Полтава, Україна, індекс 36000 (op-k@ukr.net)

ORCID: 0000-0003-0154-9911

Олександр МАМОН

кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри математичного аналізу та інформатики, Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка, вул. Остроградського, 2, Полтава, Україна, індекс 36000 (ovmamon@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-9098-8635

Tetiana BARBOLINA

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Physics and Mathematics, Professor at the Department of Mathematical Analysis and Informatics, Poltava National Pedagogical University named after V. G. Korolenko, Ostrogradskogo str., 2, Poltava, Ukraine, postal code 36000 (tm-b@ukr.net)

Olena KRYVTSOVA

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Mathematical Analysis and Informatics, Poltava National Pedagogical University named after V. G. Korolenko, Ostrogradskogo str., 2, Poltava, Ukraine, postal code 36000 (op-k@ukr.net)

Oleksandr MAMON

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Mathematical Analysis and Informatics, Poltava National Pedagogical University named after V. G. Korolenko, Ostrogradskogo str., 2, Poltava, Ukraine, postal code 36000 (ovmamon@gmail.com)

Бібліографічний опис статті: Барболіна, Т., Кривцова, О., Мамон, О. (2022). Можливості використання JavaScript для розвитку індустрії сучасних засобів навчання. *Інформаційні технології та суспільство*, 2 (4), 6–12. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.1>

Bibliographic description of the article: Barbolina, T., Kryvtsova, O., Mamon, O. (2022). Mozhlivosti vykorystannia JavaScript dlia rozvytku industrii suchasnykh zasobiv navchannia [The possibilities of using JavaScript for the development of the modern educational tools' industry]. *Informatsiini tekhnologii ta suspilstvo – Information technology and society*, 2 (4), 6–12. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.1>

**МОЖЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ JAVASCRIPT
ДЛЯ РОЗВИТКУ ІНДУСТРІЇ СУЧАСНИХ ЗАСОБІВ НАВЧАННЯ**

Стаття присвячена опису результатів роботи проектної групи основним завданням якої була розробка вебдодатку, який допоможе дітям з особливими потребами вивчати англійську мову. У якості мови програмування було обрано JavaScript.

Описано основні етапи роботи викладачів кафедри математичного аналізу та інформатики Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка які з 2020 року є учасниками проекту «WIN: writing for inclusion / письмо в інклюзивній освіті» програми Європейського Союзу Еразмус+ за напрямом KA201 Стратегічні партнерства в сфері шкільної освіти (2020-1-ES01-KA201-081827). Аплікантом проекту виступає Фондація Університету Бальмес, Іспанія (Fundació Universitèria Balmes).

Представлений у статті вебдодаток побудовано за принципом конструктора для створення анімаційного продукту, де користувач за власними уподобаннями обирає сцену, героїв і допоміжні об'єкти та створює і озвучує

власну історію. На стартовій сторінці додатку користувачі мають змогу ознайомитися із усіма зображеннями, які можуть бути використані для створення анімації. Зображення розподілені за трьома категоріями: герої, фони сцени, додаткові об'єкти живої та неживої природи. Основна сторінка для створення анімацій, розділена на три області: найбільша область призначена для відображення та руху героїв, об'єктів та сцен історії, дві інші області допомагають здійснити вибір зображень, що використовуватимуться в історії.

В результаті роботи створено та ведеться апробація проекту, який ставить за мету внести позитивні зміни у навчання дітей з особливими потребами. Впровадження у навчальний процес інформаційно-комунікаційних технологій відкриває нові можливості, покращує якість освіти та робить її доступнішою, а також розширює можливості вчителя при роботі з дітьми. Саме використання інформаційно-комунікаційних технологій дозволяє учням із особливими потребами стати повноцінними учасниками освітнього процесу та отримати якісну освіту.

Ключові слова: інформаційно-комунікаційні технології, вебдодаток, інклюзивна освіта, навчання дітей з особливими потребами.

THE POSSIBILITIES OF USING JAVASCRIPT FOR THE DEVELOPMENT OF THE MODERN EDUCATIONAL TOOLS' INDUSTRY

The article is devoted to the description of the results of the work of the project group, whose main task was the development of a web application that will help children with special needs learn English. JavaScript was chosen as the programming language.

The main stages of the work of teachers of the Department of Mathematical Analysis and Informatics of the Poltava National Pedagogical University named after V. G. Korolenko, who since 2020 have been participants in the project "WIN: writing for inclusion" of the European Union Erasmus+ program under the direction KA201 Strategic partnerships in the field of school education (2020-1-ES01-KA201-081827). The project applicant is the Balmes University Foundation, Spain (Fundació Universitària Balmes).

The web application presented in the article is built on the principle of a constructor for creating an animated product, where the user chooses a scene, characters and auxiliary objects according to his preferences, creates and voices his own story. On the application home page, users can view all the images that can be used for creating animations. The images are divided into three categories: heroes, stage scenery, additional living and non-living objects. The main page for creating animations is divided into three areas: the largest area is for displaying and moving the characters, objects and scenes of the story, the other two areas help you choose the images that will be used in the story.

As a result of this work, a project has been developed and is being piloted to bring about positive changes in the education of children with special needs. The introduction of information and communication technologies into the educational process opens up new opportunities, improves the quality of education and makes it more accessible, as well as expands the teacher's capabilities when working with children. The use of information and communication technologies makes it possible for students with special needs to participate fully in the educational process and to receive a quality education.

Key words: inclusive education, web application, information and communication technologies, education of children with special needs.

Постановка проблеми. Останнім часом зростає актуальність розробки та впровадження інформаційно-комунікаційних технологій для навчання дітей з особливими освітніми потребами. На становлення та трансформацію сучасної освіти впливає необхідність розвитку інклюзивного навчання. Сучасна стратегія розвитку освіти в усьому світі неможлива без підвищення уваги до інклюзивної освіти.

У Національній стратегії розвитку освіти в Україні передбачається інформатизація освіти, вдосконалення бібліотечного та інформаційно-ресурсного забезпечення освіти і науки; забезпечення створення умов для розвитку індустрії сучасних засобів навчання (навчально-методичних, електронних, технічних, інформаційно-комунікаційних тощо) [8].

Аналіз досліджень та постановка задачі. Розробленню питань впровадження інформаційно-комунікаційних технологій у навчальний процес дітей з особливими освітніми потребами присвячено чимало досліджень. Шляхи і можливості застосування інформаційно-комунікаційних технологій в інклюзивному процесі виокремлено у роботах О. Будник, О. Кондур, І. Дяків [1; 2]. Потенціал інформаційних технологій в інклюзивній освіті розкрито у роботі Г. Діди [3]. Колектив авторів В. Засенко, А. Колупаєва, Б. Мороз, В. Овсяник досліджували функціональні можливості програмних комплексів для інклюзивного навчання дітей зі слухомовленнєвими порушеннями [4; 5]. Вищезазначені питання, розглядалися і у роботах закордонних науковців: В. Abery, D. J. Chambers, L. Kincadec, S. Main, P. Sarah, R. Tichá [10; 12].

Попри здобутки науковців, проблема використання інформаційно-комунікаційних технологій у навчальному процесі дітей з особливими освітніми потребами потребує подальшого вивчення. Особливої уваги потрібно приділити розробці відповідного програмного і методичного забезпечення для організації інклюзивної освіти.

Одним із шляхів вирішення даної проблеми є участь науковців у міжнародних проєктах відповідного спрямування. Викладачі кафедри математичного аналізу та інформатики Полтавського національного педагогічного університету імені В. Г. Короленка приймають активну участь у таких міжнародних

проєктах. Починаючи з 2020 року викладачі кафедри є учасниками проєкту «WIN: writing for inclusion / письмо в інклюзивній освіті» програми Європейського Союзу Еразмус+ за напрямом KA201 Стратегічні партнерства в сфері шкільної освіти (2020-1-ES01-KA201-081827). Аплікантом проєкту виступає Фундація Університету Бальмес, Іспанія (Fundació Universitària Balmes). До консорціуму входять загальноосвітні та вищі навчальні заклади: Фундація Університету Бальмес (Fundació Universitària Balmes) та Школа «Лес Пінедікес» (Escola Les Pinediques) – Іспанія; Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка та Полтавська загальноосвітня школа I–III ступенів № 18 – Україна; Університет Флоренції (Università degli Studi di Firenze) та Освітній заклад «Ле Кюпе» (Istituto Comprensivo “Le Cure”) – Італія; Будапештський університет імені Лоранда Етвеша (Eotvos Lorand Tudomanyegyetem University) та Білінгвальна школа професійно-технічного спрямування м. Будапешт (Erzsébetvárosi Két Tanítási Nyelvű Általános Iskola és Szakgimnázium) – Угорщина.

Основним завданням проєктної групи стала розробка вебдодатку, який допоможе дітям з особливими потребами вивчати англійську мову. На основі порівняльного аналізу мов програмування, а також цілого ряду навчально-методичних джерел, для розв’язання, поставленого, завдання, у якості мови програмування було обрано JavaScript [6; 7; 9]. Розроблений вебдодаток було розміщено на сторінці Фундації Університету Бальмес (Fundació Universitària Balmes). Додаток супроводжується відеоінструкцією по створенню анімаційного продукту, запису відео та звукового супроводу, а також описано можливості додавання субтитрів. Дана розробка спрямовано на реалізацію рівного права на освіту будь-якої особи та впровадження інноваційних, інтерактивних технологій з урахуванням світових тенденцій підвищення якості освіти, демократизації та гуманізації.

Виклад основного матеріалу. Представлений вебдодаток побудовано за принципом конструктора для створення анімаційного продукту, де користувач за власними уподобаннями обирає сцену, героїв і допоміжні об’єкти та створює і озвучує власну історію.

На стартовій сторінці додатку користувачі мають змогу ознайомитися із усіма зображеннями, які можуть бути використані для створення анімації. Зображення розподілені за трьома категоріями:

- герої (люди різного віку, статі, віросповідання, національності тощо);
- фони сцен (локації), у яких може відбуватися історія;
- об’єкти (живі та неживі), які можуть доповнювати сцени.

Усі зображення зберігаються у відповідній папці, усі зображення однієї категорії мають спільну частину імені (наприклад, для об’єктів – ‘obj’, після якої йде номер зображення в групі). Зазначимо, що для кожного фону каталог містить два зображення: оскільки фони сцен мають досить великий обсяг, при попередньому їх перегляді використовуються зменшені їх варіанти. Зображення на сторінці розміщуються у таблиці з невидимими межами, наповнення сторінки здійснюється за допомогою Java-скрипта.

Основна сторінка для створення анімацій, розділена на три області: найбільша область призначена для відображення та руху героїв, об’єктів та сцен історії, дві інші області допомагають здійснити вибір зображень, що використовуватимуть в історії (рис. 1).



Рис. 1. Основна сторінка вебдодатку

Макетування сторінки здійснюється за допомогою трьох блокових елементів <div>, для яких визначені такі параметри ширини та висоти:

- область анімації: висота 81 %, ширина 70 %;
- область попереднього перегляду зображень групи (розташована нижче області анімації): висота 15 %, ширина 70 %;
- область вибору зображень (права частина вікна): висота 100 %, ширина 30 %).

Зображення в області попереднього перегляду розташовані в таблиці. При клацанні на деякому елементі таблиці відповідне зображення відображатиметься у правій частині вікна з більшими, ніж в області попереднього перегляду розмірами.

Розглянемо детальніше структуру області вибору об'єктів. У верхній частині розташована таблиця, що складається з 7 рядків і 6 стовпців. Стовпці таблиці відповідають сценам історії. Для кожної сцени можна обрати до 7 зображень: фон, не більше трьох героїв (*перші два з них будуть активними, третій – пасивним; особливості поведінки героїв різних типів будуть розглянуті нижче*) та не більше трьох об'єктів. Комірка таблиці, відповідна об'єкту, що вибирається, виділяється кольором. Заповнення комірок таблиці для нової історії відбувається послідовно: спочатку зображення першої сцени (фон – герої – об'єкти), потім зображення другої сцени і т. д. За потреби сформований набір зображень згодом може бути відредагований.

Нижче таблиці розташовано область перегляду поточного зображення та елементи керування, перелік яких залежить від етапу роботи над анімацією. У нижній частині області вибору об'єктів розташована підказка, щодо номера сцени та типу об'єкта, які в даний момент обираються, та посилання на стартову сторінку з переліком усіх об'єктів.

Робота над створенням анімації складається з таких етапів:

- вибір зображень;
- редагування вибраних зображень (за потреби);
- анімування історії: переміщення героїв та об'єктів в області анімації.

На етапі вибору об'єктів відбувається заповнення таблиці вибору. Як уже зазначалося, поточна комірка таблиці маркується кольором. Для розташування зображення в цій комірці необхідно здійснити такі дії:

- клацнути по зображенню в області попереднього перегляду (при цьому зображення відобразиться в області перегляду поточного зображення);
- якщо зображення не задовольняє, можна в області попереднього перегляду обрати інше зображення;
- якщо обране зображення задовольняє, слід клацнути по зображенню стрілки вгору , яке розташоване зліва від області перегляду поточного зображення; при цьому:
 - поточне зображення відображається в поточній комірці таблиці;
 - область перегляду поточного зображення очищується;
 - якщо поточною була перша, четверта або остання комірка стовпця, то змінюється вміст області попереднього перегляду, куди завантажуються зображення відповідної категорії: наприклад, якщо заповнювалася четверта комірка (вона відповідає третьому герою сцени), то в області попереднього перегляду перелік героїв замінюється переліком об'єктів;
 - якщо поточною була четверта комірка, то справа від області перегляду поточного зображення з'являється елемент, клацання на якому дозволяє пропустити заповнення всіх наступних комірок поточного стовпця і перейти до вибору зображень наступної сцени;
 - маркер поточної комірки переміщується на наступну позицію (до наступної клітинки поточного стовпця, а якщо заповнювалася остання комірка стовпця – до першої комірки наступного стовпця).

У випадку, коли вибір усіх об'єктів завершено (поточною була остання комірка таблиці), нижче таблиці з'являються написи "Start" та "Edit objects". Клацання по цих написах дозволяє перейти відповідно до третього (власне створення анімації) або другого (редагування вибору) етапу створення анімації.

Зазначимо, що користувач не зобов'язаний обирати всі сім зображень для кожної зі сцен. Можна клацнути по елементу управління  і здійснити перехід до наступного кроку створення анімації.

Розглянемо особливості роботи в режимі *редагування вибраних зображень анімації*, де є можливим замінити будь-яке зображення таблиці іншим зображенням відповідної групи. У цьому режимі замість напису "Start" знову з'являється область перегляду поточного зображення, а напис "Edit objects" замінюється на "Finish editing". Для заміни зображення в таблиці слід клацнути по ньому лівою клавішею миші. При цьому відбуваються такі дії:

- зображення в таблиці зникає і відображається в області перегляду поточного зображення;

- комірка, у якій розміщувалося зображення, маркується кольором;
- в область попереднього перегляду завантажуються зображення відповідної категорії.

Для розташування нового зображення в таблиці слід виконати такі самі дії, як і при заповненні таблиці вибору. Відмінністю є лише відсутність позначки поточної комірки після перенесення зображення в таблицю. Після того, як завершено редагування, слід клацнути по напису "Finish editing", після чого це напис зникає, а на місці області перегляду поточного зображення з'являється напис "Start".

Клацання по напису "Start" забезпечує перехід до наступного етапу – анімування історії (рис. 2). При цьому напис "Start" замінюється на "next", нижче області анімації з'являється підказка щодо основних принципів керування об'єктами. В області анімації відображається фон, герої та об'єкти першої сцени (зображення першого стовпця таблиці вибору). У лівому нижньому куті області анімації відображається номер поточної сцени.



Рис. 2. Візуалізація історії

На початку першої сцени об'єкти розташовуються у лівій частині області анімації і можуть бути перетягнуті мишею у потрібне місце області. Перетягування реалізується за допомогою реєстрації обробників подій початку і кінця перетягування об'єкта.

Під час перетягування користувач має можливість «приєднати» об'єкти до героя, внаслідок чого «приєднаний» об'єкт рухатиметься разом із героєм. Для «приєднання» необхідно натиснути клавішу Ctrl і потім перемістити об'єкт до героя. Якщо при відпусканні миші зображення об'єкта і героя перетинаються, то об'єкт «приєднується» до героя. Для «від'єднання» об'єкта достатньо просто перетягти об'єкт в інше місце.

За замовчуванням розміри всіх об'єктів в області анімації однакові: ширина і висота зображень дорівнюють 100 пікселям. Разом з тим за своїм змістом об'єкти потребують різних розмірів: приміром, диван має бути більшим за героя, а ліхтарик – помітно менше. Крім того, логіка історії може передбачати зміну розміру об'єкта. Для можливості зміни розмірів об'єктів реєструються події клацання правою клавішею миші та подвійного клацання лівою клавішею миші. У першому випадку (при клацанні на об'єкті правою клавішею миші) розміри об'єкта зменшуються вдвічі (але не менше 25 × 25 пікселів), при подвійному клацанні – збільшуються вдвічі (але не більше 400 × 400 пікселів).

Розглянемо нарешті особливості керування героями. Як уже зазначалося, на сцені можуть бути одночасно присутні три герої: два активні та один пасивний. Пасивний герой за своєю поведінкою подібний об'єкту, тобто реагує на події перетягування мишею. Проте на відміну від об'єктів, герой не «приєднується» до інших героїв і не змінює розміри у результаті клацання миші.

Активні герої можуть плавно переміщуватися в області анімації від своєї поточної позиції до позиції, вказаної клацанням миші. Для цього відслідковується клацання мишею в області анімації. Після клацання змінюється позиція одного з героїв (говоритимемо, що цей герой «знаходиться у фокусі»). Для зміни стану фокусу героя необхідно клацнути по герою. Плавність переміщення героїв забезпечується заданням властивості transition: all 1s.

Після того, як усі дії першої сцени реалізовано, слід клацнути по напису “next” для переходу до наступної сцени. При цьому в області анімації з’являються зображення із другого стовпця таблиці вибору, розташування героїв та об’єктів, розміри об’єктів зберігаються. На останній (шостій) сцені напис “next” зникає для попередження випадкових хибних дій.

Оскільки розробка анімації може передбачати вибір чималої кількості об’єктів і вимагати досить значного (особливо з точки зору молодшого школяра) часу, доцільним є збереження обраної учнями сукупності об’єктів. Використання попередньо створеного набору об’єктів дозволяє сконцентрувати увагу учнів власне на створенні та анімуванні розповіді, порівнювати різні історії з однаковими героями.

Для збереження відомостей про обрані для анімації зображення (тобто зображення, розміщені у таблиці вибору) використовується об’єкт вебсховища LocalStorage. Такий підхід дозволяє зберігати дані між сесіями браузера. Збереження вибору здійснюється при натисненні на зображенні дискети ,

яке знаходиться справа від області перегляду поточного зображення. При цьому у LocalStorage заносяться імена файлів зображень, що відповідають коміркам таблиці. Для завантаження в таблицю вибору зображень із збереженого набору слід оновити сторінку в браузері. За потреби зображення в таблиці можна змінити, перейшовши в режим редагування.

Зазначимо, що при запуску додатку в таблицю вибору також завантажують зображення, які були збережені під час попередньої сесії. Для того, щоб скинути вибір зображень і очистити таблицю вибору, слід клацнути по зображенню кошика , що знаходиться нижче кнопки збереження. Після цього всі зображення з таблиці видаляються і здійснюється перехід до першого етапу – вибору зображень.

Оновлення таблиці вибору з LocalStorage може також бути корисним, якщо в процесі анімування історії виникли ускладнення, неточності тощо. Оновивши в такому випадку сторінку, можна повернутися до початку третього етапу і створити розповідь заново.

Висновки. Отже даний проєкт ставить за мету внести позитивні зміни у навчання дітей з особливими потребами. Саме впровадження у навчальний процес інформаційно-комунікаційних технологій відкриває нові можливості, покращує якість освіти та робить її доступнішою, а також розширює можливості вчителя при роботі з дітьми [11].

Як показують сучасні дослідження та результати проведеної роботи використання інформаційно-комунікаційних технологій з кожним роком стає невід’ємною складовою освітнього процесу і є важливою та невід’ємною складовою при запровадженні інклюзивного навчання. Саме використання інформаційно-комунікаційних технологій дозволяє учням із особливими потребами стати повноцінними учасниками освітнього процесу та отримати якісну та повноцінну освіту.

Список використаних джерел:

1. Будник О. Б., Кондур О. С., Дяків І. Б. Цифрові технології в інклюзивній освіті: реалії, проблеми та перспективи. URL: <https://ped-ejournal.cdu.edu.ua/article/view/3919/4183>
2. Будник О. Б. Педагогічний супровід інклюзивної освіти : навчальний посібник [для студентів спеціальності 013 Початкова освіта]. Івано-Франківськ : Видавець Кушнір Г. М., 2019. 232 с.
3. Діда Г. Потенціал інформаційних технологій в інклюзивній ОСБІТІ. URL: <http://dspace.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/23220/1/Dida.pdf>
4. Засенко В. В., Колупаєва А. А., Мороз Б. С., Овсяник В. П. Використання інформаційних технологій в умовах спеціального та інклюзивного навчання дітей зі слухомовленнєвими порушеннями. URL: <https://core.ac.uk/download/pdf/162001387.pdf>
5. Колупаєва А. А. Інклюзивна освіта: реалії та перспективи : монографія. К. : «Самміт-Книга», 2009. 272 с.
6. Пасічник О. Г. Основи веб-дизайну. Вид. група ВВУ, 2006. 336 с.
7. Проценко О. Б. Web-програмування та web-дизайн. Технологія XML : навч. посіб. Суми : СумДУ, 2009. 127 с.
8. Стратегія розвитку інформаційного суспільства в Україні (від 15 травня 2013 р. N 386-р.). URL: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/386-2013-p>
9. Adam Ceute & Frederic Johnson. Coding HTML CSS JavaScript Made Easy. Web, Apps and Desktop. Flame Tree, 2016. 256 p.
10. Main S., Chambers D. J. & Sarah P. Supporting the transition to inclusive education: teachers' attitudes to inclusion in the Seychelles. *International Journal of Inclusive Education*, 2016. 20 (12). 1270–1285. doi.org/10.1080/13603116.2016.116887
11. Olena Kryvtsova. Development of applications for use in inclusive education : III International Scientific and Practical Internet Conference “Mathematics and Informatics in Higher Education: Challenges of Modernity”, May 20–21, 2021, Vinnytsia, Ukraine. P. 77–81.
12. Tichá R., Abery B., Kincadec L. Educational practices and strategies that promote inclusion: Examples from the U. S. *Sociální pedagogika / Social Education*, 2018. 6 (2). P. 43–62.

References:

1. Budnyk, O. B., Kondur, O. S., Diakiv, I. B. Tsyfrovi tekhnolohii v inkliuzyvnoi osviti: realii, problemy ta perspektyvy [Digital technologies in inclusive education: realities, problems and prospects]. Retrieved from: <https://ped-ejournal.cdu.edu.ua/article/view/3919/4183> [in Ukrainian]
2. Budnyk, O. B. (2019). Pedahohichnyi suprovid inkliuzyvnoi osvity : navchalnyi posibnyk [dlia studentiv spetsialnosti 013 Pochatkova osvita] [Pedagogical support of inclusive education : a textbook [for students majoring in 013 Primary Education]]. Ivano-Frankivsk: Vydavets Kushnir H. M., 2019. 232 p. [in Ukrainian]
3. Dida, H. Potentsial informatsiinykh tekhnolohii v inkliuzyvnoi OSVITI [The potential of information technologies in inclusive EDUCATION]. Retrieved from: <http://dSPACE.tnpu.edu.ua/bitstream/123456789/23220/1/Dida.pdf> [in Ukrainian]
4. Zasenka, V. V., Kolupaieva, A. A., Moroz, B. S., Ovsianyk, V. P. Vykorystannia informatsiinykh tekhnolohii v umovakh spetsialnoho ta inkliuzyvnoho navchannia ditei zi slukhomovlennievymy porushenniamy [Using of information technologies in the conditions of special and inclusive education of children with hearing and speech disorders]. Retrieved from: <https://core.ac.uk/download/pdf/162001387.pdf> [in Ukrainian]
5. Kolupaeva, A. A. (2009). Inkliuzyvna osvita: realii ta perspektyvy [Inclusive education: realities and prospects] : Monohrafiia. K. : "Sammit-Knyha". 272 p. [in Ukrainian]
6. Pasichnyk, O. H. (2006). Osnovy veb-dyzainu [Basics of web design]. Vyd. hrupa BHV. 336 p. [in Ukrainian]
7. Protsenko, O. B. (2009). Web-prohramuvannia ta web-dyzain [Web programming and web design]. Tekhnolohiia XML : navch. posib. Sumy : SumDU. 127 p. [in Ukrainian]
8. Stratehiia rozvytku informatsiinoho suspilstva v Ukraini (vid 15 travnia 2013 r. N 386-r) [Strategy for the development of the information society in Ukraine (dated May 15, 2013 No. 386)]. Retrieved from: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/386-2013-p> [in Ukrainian]
9. Adam Ceute & Frederic Johnson. (2016). Coding HTML CSS JavaScript Made Easy. Web, Apps and Desktop. Flame Tree, 2016. 256 p. [in English]
10. Main, S., Chambers, D. J. & Sarah, P. (2016). Supporting the transition to inclusive education: teachers' attitudes to inclusion in the Seychelles. *International Journal of Inclusive Education*. 20 (12). Pp. 1270–1285. doi.org/10.1080/13603116.2016.116887 [in English]
11. Olena Kryvtsova. (2021). Development of applications for use in inclusive education : III International Scientific and Practical Internet Conference "Mathematics and Informatics in Higher Education: Challenges of Modernity", May 20–21, 2021, Vinnytsia, Ukraine, pp. 77–81. [in English]
12. Tichá, R., Abery, B., & Kincadec, L. (2018). Educational practices and strategies that promote inclusion: Examples from the U. S. *Sociální pedagogika / Social Education*, 6 (2): pp. 43–62. [in English]

УДК 004.896

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.2>

Олександр БЕЗВЕРХИЙ

доктор фізико-математичних наук, професор, професор кафедри інформаційних систем і технологій, Національний транспортний університет, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, Київ, індекс 01010 (o_bezver@ukr.net)

ORCID: 0000-0002-0834-6335

Scopus Author ID: 6603638908, 14067133500

Олександр КУЦЕНКО

аспірант кафедри інформаційних систем і технологій, Національний транспортний університет, вул. М. Омеляновича-Павленка, 1, Київ, індекс 01010 (alexkutsenko95@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-0047-4874

Oleksandr BEZVERKY

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Professor at the Department of Information Systems and Technologies, National Transport University, 1 M. Omelyanovicha-Pavlenka str., Kyiv, postal code 01010 (o_bezver@ukr.net)

Oleksandr KUTSENKO

Postgraduate Student at the Department of Information Systems and Technologies, National Transport University, 1 M. Omelyanovicha-Pavlenka str., Kyiv, postal code 01010 (alexkutsenko95@gmail.com)

Бібліографічний опис статті: Безверхий, О., Куценко, О. (2022). Ефективність застосування бібліотеки React. *Інформаційні технології та суспільство*, 2 (4), 13–19. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.2>

Bibliographic description of the article: Bezverkhyi, O., Kutsenko, O. (2022). Efektyvnist zastosuvannya biblioteki React. [The efficiency of using the React library]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information technology and society*, 2(4), 13–19. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.2>

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ БІБЛІОТЕКИ REACT

Для відображення додатків існують ряд бібліотек та фреймворків. Частіше застосовують React, Vue js, Angular, Svelte, JQuery, Meteor, Backbone. React JS – це бібліотека JavaScript з відкритим кодом, яка використовується спеціально для побудови користувацьких інтерфейсів. Основна перевага React JS полягає в тому, що він масштабований, простий та швидкий. React дозволяє розробникам створювати великі веб-застосунки, які використовують дані, котрі змінюються з часом, без перезавантаження сторінки. Як бібліотеку інтерфейсу користувача React найчастіше використовують разом з іншими бібліотеками, такими як Redux. Ефективність застосування бібліотеки React полягає в:

1. Односторонній передачі даних. Властивості передаються в рендерер компоненту, як властивості html тегу. Компонент не може напряму змінювати властивості, що йому передані, але може їх змінювати через callback функції. Такий механізм називають «властивості донизу, події нагору».

2. Віртуальному DOM. React підтримує віртуальний DOM, а не покладається виключно на DOM браузера. Це дозволяє бібліотеці визначити, які частини DOM змінилися, порівняно (diff) зі збереженою версією віртуального DOM, і таким чином визначити, як найефективніше оновити DOM браузера.

Ключові слова: розробка веб-додатків, Реакт, діджиталізація, комп'ютерні науки.

THE EFFICIENCY OF USING THE REACT LIBRARY

Contains a number of libraries and frameworks to display applications. More often Back React, Vuejs, Angular, Svelte, JQuery, Meteor, Backbone. React JS is an open source JavaScript library used specifically to build user interfaces. The main advantage of React JS is that it is large-scale, simple and fast. React allows retailers to create large web applications that use data that changes over time without reloading pages. Which React user interface library is used in conjunction with other libraries, such as Redux. The effectiveness of the React library is in:

1. One-way data transmission. Properties are passed to the component renderer as html tag properties. A component cannot directly change the properties passed to it, but can change them through callback functions. This mechanism is called "properties down, events up".

2. *Virtual DOM. React supports virtual DOM and does not rely solely on browser DOM. This allows the library to determine which parts of the DOM have changed, compared (diff) with the saved version of the virtual DOM, and thus determine how best to update the browser DOM.*

Key words: Web application development, React, digitalization, computer science.

Вступ. Актуальність статті полягає у дослідженні інноваційної бібліотеки React що широко застосовується для відображення додатків. Метою роботи є дослідження всіх аспектів та переваг данної бібліотеки над усіма іншими фреймворками, та її інтеграцію з різними фронт-енд технологіями.

На сьогодні існують бібліотеки та фреймворки для відображення додатків, серед них частіше застосовують React, Vue js, Angular, Svelte, JQuery, Meteor, Backbone. Вони мають у собі ряд нових підходів та технологій для ефективного створення, тестування та роботи додатків. Авто-тестування коду спрощує процес тестування та економить час.

Сучасний розвиток бібліотек розпочинається за появи JQuery. Вона вирішувала питання універсального коду, адже раніше в кожному браузері був свій JS, що працювала через маніпулювання з DOM. Проте у бібліотеки JQuery не було чіткої структури для написання повноцінного додатку та її код виглядав як спагетті.

З 2010 року розпочалося створення повноцінних фреймворків для написання клієнтського додатку. Першою бібліотекою був Backbone, а за ним Angular js від компанії Google. У цих бібліотеках з'явився клієнтський роутинг та відповідно можна було створювати односторінковий додаток (Single page application).

Ще одним предстанвиком того часу був Ember який використовував ще HTML шаблонізатор Handlebars.

З появи першого фреймворку, та в процесі ускладнення написання клієнтської частини додатку, з'являється необхідність у розширенні області веб розробки фахівцями з фронтенду.

Front-end розробник – це фахівець в області веб-розробки, в завдання якого входить проектування користувацьких інтерфейсів для сайтів або додатків, технічні рішення в області проектування веб-інтерфейсів, що забезпечують зручність користування веб-ресурсом. Спеціалісти даної області повинні досконало знати HTML, CSS, JavaScript, основи SEO, розуміти термін «кросбраузерність», «юзабіліті» та завжди застосовувати їх на практиці. Головне завдання Front-end розробника – Зробити веб-додаток так, щоб він швидко працював, був надійний та привабливий.

React JS – це бібліотека JavaScript з відкритим кодом, яка використовується спеціально для побудови користувацьких інтерфейсів. Розробляється та підтримується компанією Facebook з 2013 року, також є моїм основним робочим інструментом. Зазвичай використовується для односторінкових програм. Він використовується для обробки всіх переглядів програми для будь-яких веб-або мобільних додатків. ReactJS також використовується для повторного використання компонентів інтерфейсу. React дозволяє розробникам створювати веб-програми, які можуть змінювати ваші дані, не завантажуючи вашу сторінку. Основна перевага React JS полягає в тому, що він масштабований, простий та швидкий. Це також відповідає виду в шаблоні MVC. Зазвичай він виступає комбінацією бібліотек або фреймворків JavaScript.

1. Аналіз основних конкурентів

В ході дослідження всіх популярних фронт-енд фреймворків було виділено наступні:

Angular (зазвичай так називають фреймворк Angular 13 або Angular 2+, тобто вищі версії) – написаний на TypeScript front-end фреймворк з відкритим кодом, який розробляється під керівництвом Angular Team у компанії Google, а також спільнотою приватних розробників та корпорацій. Angular – це AngularJS, який був переосмислений та перероблений тією ж командою розробників.

Всередині фреймворку реалізовано:

- Модульність.
- Анімації.
- Машрутизація.
- Робота з бекендом.
- Зберігання/обробка/відображення даних.

Згальний вигляд архітектури Ангуляру:

Перш за все, варто зазначити, що Angular застосунки пишуться на TypeScript, а не на чистому JavaScript. TypeScript – мова програмування, розроблена компанією Microsoft у 2012 році, як мова яка розширює можливості Javascript та надає статичної типізації, компіляції та інше.

Архітектура Angular складається з: Module, Component, Template, Service, Router, Pipe, Directives.

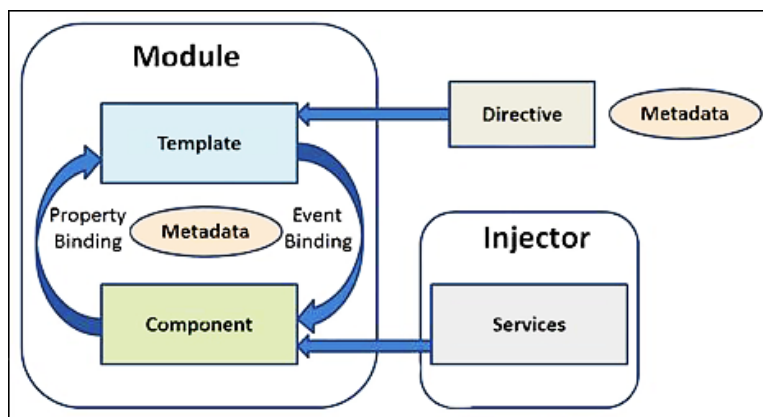


Рис. 1. Схема роботи Angular

Модулі (Module) – структурні одиниці застосунку, які інкапсулюють певну логіку. В Angular це структури, які зберігають певні компоненти, директиви та сервіси, об'єднані певною логікою. Прикладом може слугувати профіль користувача, модуль для написання листа, огляд списку листів тощо.

Компоненти (Component) – typescript клас, який зберігає дані та логіку відображення цих даних у шаблоні (представленні). Шаблон тісно пов'язаний з компонентом. Дані з компонента можна з легкістю відображати у шаблоні, використовуючи спеціальний синтаксис. Компонент також може «знімати» дані з шаблону та отримувати їх безпосередньо у скрипті.

Шаблон (Template) – фрагмент html-коду з додаванням спеціального синтаксису. Він дозволяє впроваджувати в шаблон дані з компонента без використання innerHTML та подібних методів. Шаблон прописується у компоненті та є частиною його конфігурації.

Сервіс (Service) в Angular являє собою typescript класи, які виконують задачі, пов'язані з отриманням, зберіганням та обробкою даних. Наприклад, логування, перетворення даних для подальшої передачі у компонент, звернення до backend та ін. На відміну від компонентів та директив сервіси не працюють з представленнями (шаблонами) напряму.

Задачі сервісів:

- надання даних застосунку. Сервіс сам може зберігати дані у пам'яті або, з метою отримання даних, звертатися до якогось джерела даних, наприклад, до сервера;
- сервіс може організувати канал взаємодії між окремими компонентами застосунку;
- сервіс може інкапсулювати бізнес-логіку, різноманітні обчислювальні задачі, задачі з логування, які краще виносити поза компоненти. Таким чином, код компонентів буде зосереджений, безпосередньо, на роботі з представленням. До того ж, можемо розв'язати проблему повторення коду, якщо нам знадобиться виконати одну й ту саму задачу у різних компонентах і класах.

Роутер (Router) – маршрутизатор, який призначений для переходу між екранами з метою відображення різного контенту. Іншими словами, коли в адресному рядку браузера у вас змінюється фрагмент URL, маршрутизатор відстежує ці зміни та завантажує ту або іншу частину застосунку.

Директиви та Пайпи – більш специфічні конструкції, які простіше продемонструвати у коді, ніж описати словами.

Vue.js

Це фреймворк, який знайшов баланс між обмеженнями та гнучкістю. Його ядро вирішує передусім задачі представлення даних, тому він легко інтегрується в наявні проекти поступово. Проте підходить для створення повноцінних SPA (Single-Page-Application) застосунків, адже має повний набір функціоналу.

Завдяки хорошій документації, низькому рівню входу та невеликому розміру досить активно завоює серця розробників.

Він має CLI, маршрутизацію, як Angular, використовує Virtual DOM і має досить швидкий час розробки, як React.

Та все ж таки він має менш гнучкий компонентний підхід, ніж React, а керування життєвим циклом, що відбувається «під капотом» у великих проектах, може стати проблемою через неочевидність і важкість відлагодження.

З цього можна зробити висновок, що Vue.js круто підходить для розробки більшості вебзастосунків, але якщо треба робити надто складне відображення, звернутися варто до React.

Svelte

Не може не згадати ще одного цікавого кандидата у світі фронтенду – Svelte. Це принципово новий підхід до розробки фронтенду, адже коли типові фреймворки завантажуються вам у браузер і тоді починають свою роботу, то Svelte є компілятором, що переводить код, написаний з використанням власного синтаксису, в елегантний і оптимізований чистий JS-код. Без Virtual DOM, без абстракцій, лише чистий низькорівневий JS.

І здавалось би, в чому тут переваги, ми втрачаємо всі бонуси, які дають нам фреймворки...

Насправді велика перевага в тому, що нам не потрібно з собою в браузер користувача тягнути сам фреймворк, немає додаткових навантажень, для обчислення Virtual DOM, а також збірник сміття JS може більш ефективно підчищати пам'ять, яку використовує програма.

Варто зазначити, що для великих застосунків, де 25–50 чи навіть 170 КБ фреймворку це лише 1–2 % від усього розміру застосунку, а Virtual DOM дає більше користі, ніж використовує ресурсів, переваги Svelte є несуттєвими.

З усім тим він активно набирає популярність і може стати новим підходом у світі фронтенду. Але вакансій на цю мить дуже мало.

2. React та його переваги

React (React.js, ReactJS) – відкрита JavaScript бібліотека для створення інтерфейсів користувача, яка покликана вирішувати проблеми часткового оновлення вмісту веб-сторінки, з якими стикаються в розробці односторінкових застосунків. Розробляється Facebook, Instagram і спільнотою індивідуальних розробників, на сьогодні актуальною версією є 18.

React дозволяє розробникам створювати великі веб-застосунки, які використовують дані, котрі змінюються з часом, без перезавантаження сторінки. Його мета полягає в тому, щоб бути швидким, простим, масштабованим. React обробляє тільки користувацький інтерфейс у застосунках. Це відповідає *видові* у шаблоні модель-вид-контролер (MVC), і може бути використане у поєднанні з іншими JavaScript бібліотеками або в великих фреймворках MVC, таких як AngularJS. Він також може бути використаний з React на основі надбудов, щоб піклуватися про частини без користувацького інтерфейсу побудови веб-застосунків. Як бібліотеку інтерфейсу користувача React найчастіше використовують разом з іншими бібліотеками, такими як Redux.

В даний час React використовують Khan Academy, Netflix, Yahoo, Airbnb, Sony, Atlassian та інші.

Бібліотеку створено Джорданом Волком (Jordan Walke), програмістом з Facebook. Автор працював над проектом під впливом XHP, фреймворку HTML для PHP. 2011-го року реліз з'явився у новинах Facebook, за рік – у соціальній мережі Instagram. Також фреймворк був представлений як проект з відкритим початковим кодом на конференції розробників JSConf US, що проходила у Сполучених Штатах у травні 2013 року. На конференції React.js Conf, влаштовану Фейсбуком у березні 2015-го, проект було представлено як відкрите програмне забезпечення.

Особливості:

Одностороння передача даних. Властивості передаються в рендерер компоненту, як властивості html тегу. Компонент не може напряму змінювати властивості, що йому передані, але може їх змінювати через callback функції. Такий механізм називають «властивості донизу, події нагору».

Віртуальний DOM. React підтримує віртуальний DOM, а не покладається виключно на DOM браузера. Це дозволяє бібліотеці визначити, які частини DOM змінилися, порівняно (diff) зі збереженою версією віртуального DOM, і таким чином визначити, як найефективніше оновити DOM браузера. Таким чином програміст працює зі сторінкою, вважаючи що вона оновлюється вся, але бібліотека самостійно вирішує які компоненти сторінки треба оновити.

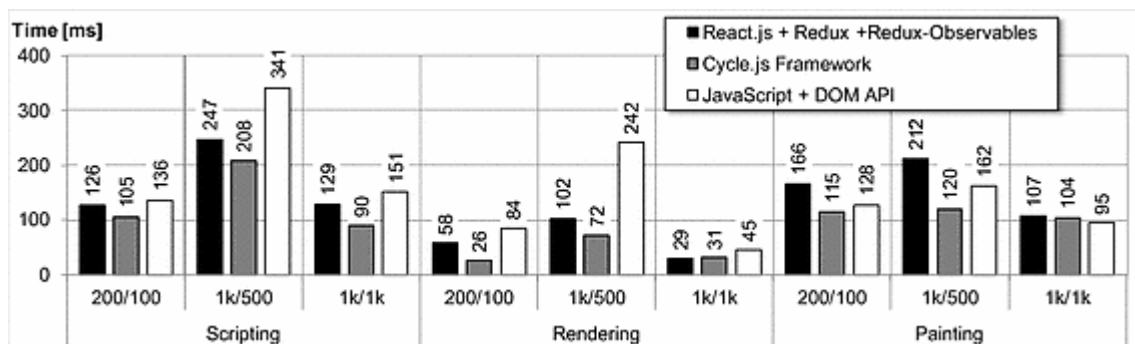


Рис. 2. Порівняння швидкості Virtual Dom з DOM

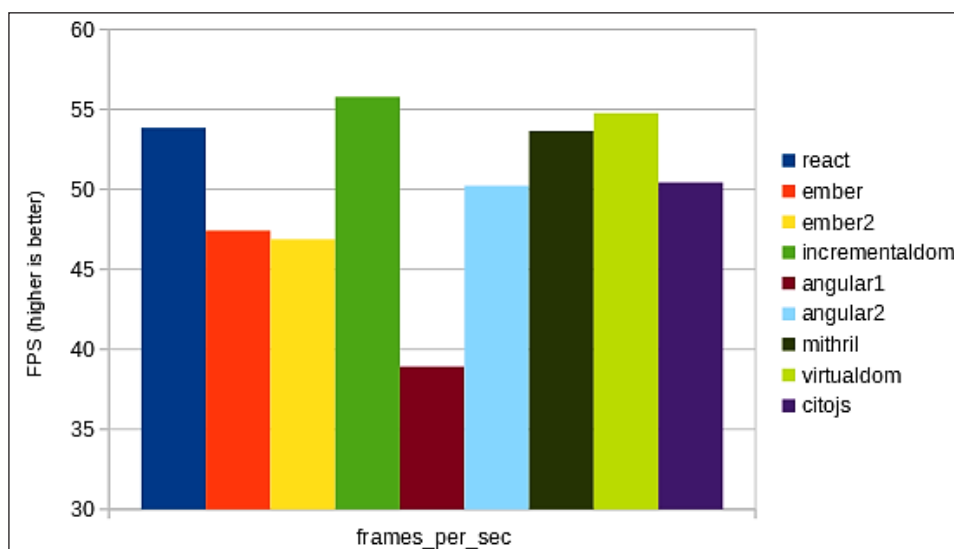


Рис. 3. Порівняння швидкості React з іншими бібліотеками та фреймворками

JSX – це розширення синтаксису JavaScript. Він подібний до мови шаблонів, але наділений всіма можливостями JavaScript. JSX компілюється у виклики `React.createElement()`, котрі повертають прості об'єкти JavaScript, що називаються «React-елементи».

React DOM використовує стиль camelCase для найменування властивостей замість звичайних імен HTML-атрибутів. Наприклад, `tabindex` в JSX перетворюється в `tabIndex`. Атрибут `class` записується як `className`, оскільки в JavaScript слово `class` є зарезервованим.

Не лише рендеринг HTML в браузері. React використовують не лише для рендерингу HTML в браузері. Наприклад, Facebook має динамічні графіки які рендеряться в теги `<canvas>`, Netflix та PayPal використовують ізоморфне завантаження для рендерингу ідентичного HTML на сервері та клієнті.

Методи життєвого циклу

Методи життєвого циклу – це визначена користувачем функціональність, що виконується протягом різних етапів життя компонента. Є методи, котрі доступні коли компонент створюється і вставляється в DOM (монтування), коли компонент оновлюється і коли компонент відмонтовується і видаляється з DOM. Наприклад:

- `shouldComponentUpdate` – це метод життєвого циклу, який каже Javascript оновити компонент, використовуючи логічні змінні;
- `componentWillMount` – це метод життєвого циклу, який каже Javascript налаштувати певні дані перед монтуванням компонентів (вставлення у віртуальний DOM);
- `componentDidMount` – це метод життєвого циклу, подібний до компонента `WillMount`, за винятком того, що він працює після методу `render`, і може використовуватися для додавання JSON-даних, а також для визначення властивостей та станів;
- `render` є найважливішим методом життєвого циклу, необхідним у будь-якому компоненті. Метод `render` – це те, що з'єднується з JSX і відображати власний JSX;
- починаючи з версії 16.8 можна використовувати Хуки для життєвого циклу.

Вкладені елементи

Кілька елементів на одному рівні повинні бути загорнутими в один елемент контейнера, наприклад елемент `<div>`, або компонент `<Fragment>`, або повернутий як масив.

Атрибути

JSX надає ряд атрибутів елементів, призначених для відображення тих, що надаються у форматі HTML. Користувачки атрибути також можуть бути передані компоненту. Всі атрибути будуть отримані компонентом як реквізит.

Props

Пропс – це вхідні дані React-компонента. Вони є даними, що передаються від батьківського компонента до дочірнього. Запам'ятайте, що `props` призначені лише для читання. Не варто намагатися змінювати їх. Якщо вам потрібно змінити якесь значення у відповідь на ввід користувача чи відповідь сервера, використовуйте `state` (стан).

State

Компонент потребує state, коли якісь дані в ньому змінюються з часом. Наприклад, компоненту Checkbox може знадобитися isChecked у його стані, а компонент NewsFeed має відслідковувати fetchedPosts у своєму стані.

Найбільша різниця між state і props полягає в тому, що props передаються з батьківського компонента, а state керується самим компонентом. Компонент не може змінювати власні props, але може змінювати state. Кожна окрема частина змінних даних має бути під керуванням єдиного компонента, що має її в своєму стані. Не намагайтесь синхронізувати стани між двома різними компонентами. Замість цього підійміть його до найближчого батьківського компонента і передайте його через пропси до кожного дочірнього компонента.

Компоненти

React-компоненти – це маленькі, придатні для повторного використання частини коду, що повертають React-елемент для його відображення на сторінці. Найпростіший React-компонент – це звичайна функція JavaScript, що повертає React-елемент. Також, компоненти можуть бути класами ES6. Компоненти можуть бути контрольованими та неконтрольованими. У контрольованих компонентах є стан, а неконтрольовані просто відображають дані. Компоненти можна розбити на окремі частини залежно від їх функціональності і використовувати всередині інших компонентів. Компоненти можуть повертати інші компоненти, масиви, рядки і числа. Якщо якась частина вашого інтерфейсу використовується у кількох місцях (Button, Panel, Avatar) чи надто складна сама по собі, завжди є сенс винести її в незалежний компонент. Імена компонентів завжди мають починатися з великої літери (<Wrapper/>, а не <wrapper/>).

Узгодження

Коли пропси чи стан компонента змінюються, React порівнює тільки що повернутий і попередній відрендерений елемент та вирішує, чи потрібно оновлювати DOM. Якщо вони не рівні, то React здійснює оновлення DOM. Цей процес і називається «узгодження».

Fiber – це нова архітектура, що покладена в основу React 16, реліз якого у 2017 році. Велика частина коду була переписана з нуля. Основною метою було створення можливості для пріоритизації оновлень контенту. Також переписана система обробки помилок та усунуті деякі старі незручності, наприклад, необхідність обгорнути декілька елементів в один кореневий елемент. Існуюче API, на щастя, майже не зачепили. Саме Fiber робить Реакт найкращим.

React не намагається надати повну «схему додатків». Він безпосередньо спрямований на побудову користувацьких інтерфейсів, і тому не включає в себе безліч інструментів, які деякі розробники вважають необхідними для створення програми. Це дозволяє вибрати будь-які бібліотеки, які розробник вважає за краще виконувати, щоб виконати певних завдань, таких як здійснення доступу до мережі або локальне зберігання даних.

Висновки. На початку становлення фронтенду була тільки одна бібліотека, але вона мала свої недоліки. Через це почали створюватися бібліотеки та фреймворки для написання повноцінних додатків. Найпершими були Ангуляр та Backbone.

На сьогодні є багато бібліотек так фреймворків для створення додатків проте React розроблений компанією Facebook (Meta) є найкращим.

Він поєднує простоту, ефективність та легку інтеграцію з будь-якою бібліотекою.

Проаналізувавши бібліотеку Реакт можна зробити висновки що весь додаток складається з компонентів. Компоненти бувають класові та функціональні. В останніх версіях всі можливості класових компонентів доступні у функціональних через нові Хуки. З новою архітектурою Fiber з пріоритизацією контенту Реакт стає однозначним фаворитом серед усіх бібліотек та фреймворків для створення додатків.

Проте його розробка триває і зовсім скоро він знову нас порадує своїми новими покращеннями.

Отже на сьогодні є багато засобів для створення додатків розроблені різними світовими компаніями, вони мають різну архітектуру та підходи, проте якщо ви хочете швидко та надійно створити додаток, то Реакт є найкращим для цього.

Список використаних джерел:

1. Офіційна документація React.js. URL: <https://uk.reactjs.org/>
2. React 16: огляд нової архітектури Fiber. Євген Шепет. URL: <https://dou.ua/lenta/articles/react-fiber/>
3. Огляд фреймворків JavaScript. Що, для чого і коли використовувати. URL: <https://dou.ua/forums/topic/34739/>
4. Angular (фреймворк). URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Angular_\(фреймворк\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Angular_(фреймворк))
5. Які інтерфейсні фреймворки найкраще використовувати у 2022 році? Девід Карчевскі. URL: <https://www.ideamotive.co/blog/best-frontend-frameworks>

6. Відомі і ті, що ховаються в тіні: найпопулярніші фреймворки для фронтенд розробки 2020. URL: <https://luxnet.io/uk/blog/popular-frameworks-for-front-end-development-2020>
7. Фронтенд-2019: підсумки року. URL: <https://senior.ua/articles/frontend2019-pdsumki-roku>
8. React. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/React>
9. Веб-застосунок. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Веб-застосунок>
10. Vue.js. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Vue.js>

References:

1. Ofitsiina dokumentatsiia React js [Official documentation React js]. Retrived from: <https://uk.reactjs.org/> [in Ukrainian]
2. React 16: ohliad novoi arkhitektury Fiber. Evhen Sheremet [React 16: overview new Fiber architecture. Evgen Sheremet]. Retrived from: <https://dou.ua/lenta/articles/react-fiber/> [in Ukrainian]
3. Ohliad freimvorkiv JavaScript. Shcho, dlia choho i koly vykorystovuvaty [Overview JavaScript frameworks. What, for what use and when]. Retrived from: <https://dou.ua/forums/topic/34739/> [in Ukrainian]
4. Angular (freimvork). Retrived from: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Angular_\(фреймворк\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Angular_(фреймворк)) [in Russian]
5. Yaki interfeisni freimvorky naikrashche vykorystovuvaty u 2022 rotsi? Devid Karchevski [Which interface frameworks are the best in 2022? David Karchewski]. Retrived from: <https://www.ideamotive.co/blog/best-frontend-frameworks> [in Ukrainian]
6. Vidomi i ti, shcho khovaiutsia v tini: naipopuliarnishi freimvorky dlia frontend rozrobky 2020 [Known and those hiding in the shadows: the most popular frameworks for frontend development 2020]. Retrived from: <https://luxnet.io/uk/blog/popular-frameworks-for-front-end-development-2020> [in Ukrainian]
7. Frontend-2019: pidsumky roku [Front-End-2019: result of the year]. Retrived from: <https://senior.ua/articles/frontend2019-pdsumki-roku> [in Ukrainian]
8. React. Retrived from: <https://uk.wikipedia.org/wiki/React> [in Ukrainian]
9. Veb-zastosunok [Web-App]. Retrived from: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Veb-zastosunok> [in Ukrainian]
10. Vue.js. Retrived from: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Vue.js> [in Ukrainian]

УДК 681.3.06

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.3>

Володимир БРОДКЕВИЧ

кандидат економічних наук, доцент кафедри комп'ютерних інформаційних систем та технологій, Інститут комп'ютерно-інформаційних технологій та дизайну Міжрегіональної Академії управління персоналом, вул. Фрометівська 2, Київ, Україна, індекс 03039 (v.brodkevych@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-4282-8888

Валентин ЛЮДВІЧЕНКО

кандидат фізико-математичних наук, професор кафедри комп'ютерних інформаційних систем та технологій, Інститут комп'ютерно-інформаційних технологій та дизайну Міжрегіональної Академії управління персоналом, вул. Фрометівська 2, Київ, Україна, індекс 03039 (v.brodkevych@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-6704-1921

Volodymyr BRODKEVYCH

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor at the Department of Computer Information Systems and Technologies, Institute of Computer Information Technologies and Design of Interregional Academy of personnel management, 2 Frometivska str., Kyiv, Ukraine, postal code 03039 (v.brodkevych@gmail.com)

Valentin LIUDVICHENKO

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor at the Department of Computer Information Systems and Technologies, Institute of Computer Information Technologies and Design of Interregional Academy of personnel management, 2 Frometivska str., Kyiv, Ukraine, postal code 03039 (v.lydovichenko@gmail.com)

Бібліографічний опис статті: Бродкевич, В., Людвіченко, В. (2022). Штучний інтелект і машинне навчання в галузі охорони здоров'я: виклики і перспективи. *Інформаційні технології та суспільство*, 2 (4), 20–28. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.3>

Bibliographic description of the article: Brodkevych, V., Liudvichenko, V. (2022). Shtuchnyi intelekt i mashynne navchannia v haluzi okhorony zdorov'ia: vyklyky i perspektyvy [Artificial Intelligence and machine learning in healthcare: challenges and trends]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information technology and society*, 2 (4), 20–28. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.3>

**ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ І МАШИННЕ НАВЧАННЯ В ГАЛУЗІ ОХОРОНИ ЗДОРОВ'Я:
ВИКЛИКИ І ПЕРСПЕКТИВИ**

Четверта індустріальна революція і процеси пов'язані з цим суспільним явищем зачіпають практично усі сфери і можна стверджувати, що шансів не бути причетними нема ні в якій галузі людської діяльності. Галузь охорони здоров'я теж охоплена процесами автоматизації в різних напрямках – від діагностики і обліку пацієнтів до розробки нових ліків і оперативних втручань за допомогою програмних додатків та програмно-апаратних роботизованих систем штучного інтелекту. В цій статті робиться огляд сучасного стану новаторських систем в світовій медичній галузі, існуючі запровадження, проблеми просування іновацій та аналізуються можливий їх подальший розвиток. **Метою статті** є дослідження проблеми розгортання штучного інтелекту в галузі охорони здоров'я та існуючі тенденції застосування; оцінка специфіки використання ШІ в клінічних умовах та оцінка успішних кейсів та перспектив іноваційних проєктів по впровадженні і отриманні позитивних результатів в медичній сфері; визначення перспективних напрямків для розвитку ШІ в галузі охорони здоров'я. Реалізація поставленої мети передбачає вирішення низки **завдань**, як-от: 1) розкриття сутності і перспектив запровадження технології ШІ в медицині; 2) аналіз стану розвитку ШІ в медичній сфері; 3) дослідження специфіки проведення оцінювання впливу ШІ на результати медичних процесів.

Наукова новизна. У статті розвиток сучасних технологій в медицині з застосуванням Штучного інтелекту розглядається як складна технологічна, організаційна і медична проблема, яка потребує зусиль різних категорій фахівців: інженерів, аналітиків даних, адміністраторів, медичних працівників різних рівнів і спеціалізацій. Вирішення цих проблем комплексне і надає значні переваги в оновленому лікувальному процесі та покращення його результатів. Значна увага приділяється питанням аналізу поточного стану ШІ на основі даних в області охорони здоров'я і оцінюються досягнення в галузі штучного інтелекту в охороні здоров'я. Як **висновок**, у статті наголошується, що новітні технології дозволяють по-новому визначити охорону здоров'я як індустріальну галузь, яка керується даними, в результаті будуть використовуватися переваги штучного інтелекту – його здатність постійно вдосконалюватися з все більшою кількістю даних. Ці досягнення відкривають сучасну медицину як медицину правди або доказову медицину.

Ключові слова: штучний інтелект, галузь охорони здоров'я, машинне навчання, глибоке навчання, медицина правди, доказова медицина, трансформація охорони здоров'я.

ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND MACHINE LEARNING IN HEALTHCARE: CHALLENGES AND TRENDS

The fourth industrial revolution and the processes associated with this social phenomenon affect almost all areas and it can be argued that there is no chance of not being involved in any field of human activity. The current state of innovator systems in the world medical industry, existing introductions, problems of promotion of innovations and their possible further development are analyzed. **The article is aimed** at studying the problem of deploying artificial intelligence in the field of healthcare and existing trends in application; assessing the specifics of the use of AI in clinical conditions and assessing successful cases and prospects of innovative projects for the implementation and obtaining positive results in the medical field; determining promising areas for the development of AI in the field of healthcare. The implementation of this goal involves solving a number of **problem**, such as: 1) revealing the essence and prospects for the introduction of AI technology in medicine; 2) analysis of the state of AI development in the medical field; 3) research of the specifics of the assessment of the impact of AI on the results of medical processes.

Scientific novelty. In the article, the development of modern technologies in medicine with the use of Artificial Intelligence is considered as a complex technological, organizational and medical problem that requires the efforts of various categories of specialists: engineers, data analysts, administrators, medical workers of different levels and specializations. Solving these problems is comprehensive and provides significant benefits in the updated treatment process and improving its results. Much attention is paid to the analysis of current state in AI based on data in the field of health care and is evaluated in the field of artificial intelligence in healthcare. As a **conclusion**, the article notes that the latest technologies will allow a new way to recognize healthcare as a data-driven industry, as a result, the benefits of artificial intelligence will be used – its ability to constantly improve with more and more data. These advances open up modern medicine as medicine in truth or evidence-based medicine.

Key words: artificial intelligence, healthcare industry, machine learning, deep learning, truth medicine, evidence-based medicine, healthcare transformation.

Метою статті є дослідження проблеми розгортання штучного інтелекту в галузі охорони здоров'я та існуючі тенденції застосування; оцінка специфіки використання ШІ в клінічних умовах та оцінка успішних кейсів та перспектив іноваційних проєктів по впровадженні і отриманні позитивних результатів в медичній сфері. Виходячи з аналізу ситуації автори визначають перспективні напрямки можливих майбутніх інвестиційних напрямків для розвитку ШІ в галузі охорони здоров'я та зазначають можливі напрямки розвитку та наукових досліджень на шляху вирішення існуючих проблем.

Виклад основного матеріалу. В подальшому ми будемо використовувати термінологію, що відноситься до тематики даної публікації. Уточнимо деякі основні терміни. Вікіпедія так пояснює термін **Наука про дані** (Data Science *англ.*) – «це міждисциплінарна галузь, яка використовує наукові методи, процеси, алгоритми та системи для отримання знань і ідей із зашумлених (з випадковими даними, що не відносяться до конкретного дослідження – *Автор*), структурованих і неструктурованих даних і застосування знань із даних у широкому діапазоні областей застосування».

Ми будемо розуміти під **Штучним Інтелектом** (ШІ) – термін, що використовується в науці про дані, який описує здатність комп'ютера прогнозувати результат за допомогою заданого набору даних; Наприклад, прогнозування смертності у даного пацієнта з використанням клінічних спостережень, життєвих показників, результатів лабораторних досліджень – як даних з врахуванням при цьому великої кількості аналогічних зовнішніх даних з досліджень інших пацієнтів.

Машинне навчання – це здатність комп'ютера вчитися, не будучи явно запрограмованим – можна розглядати як метод здійснення «Штучного Інтелекту»;

Глибоке навчання – це інструмент, який використовується в машинному навчанні.

Пандемія COVID19 в глобальному світі посирила наше розуміння та відчуття важливості власного здоров'я та крихкості світової систем охорони здоров'я. Все більше приходить усвідомлення, наскільки недосконалими та застарілими є багато процесів в системі охорони нашого здоров'я. Та, якщо ми дійсно до цього прагнемо, то рухатися в правильному напрямку світове співтовариство може досить швидко і ефективно. Цей тренд вже призводить до значного прискорення як інвестицій, так і застосування штучного інтелекту в екосистемах охорони здоров'я та медицини. На цьому зауважує Кай-Фу Лі [1].

Сьогодні ШІ лише зароджується в галузі охорони здоров'я – перші проєкти можна віднести до початку тисячоліття. Навіть у найрозвиненіших країнах це початковий етап, але ця технологія є перспективною для таких напрямків як діагностика, завдань, пов'язаних з комп'ютерним зором, обробка природної мови (NLP – Natural language processing *англ.*) також деяких завдань, пов'язаних з адміністративними процесами та обробкою даних в т. ч. персональних медичних карток або електронних медичних записів – ЕМЗ (EMR – Electronic Medical Records *англ.*) в медичних базах даних.

Сучасна медицина 21-го століття отримала користь від безпрецедентних наукових проривів, що призвело до покращення кожного аспекту сфери охорони здоров'я. В результаті очікувана тривалість життя людей згідно даними Вікіпедії зросла з 31 (47,3 – США) в 1900 році до 72 (78,7 – США) у 2018 році – рис. 1.

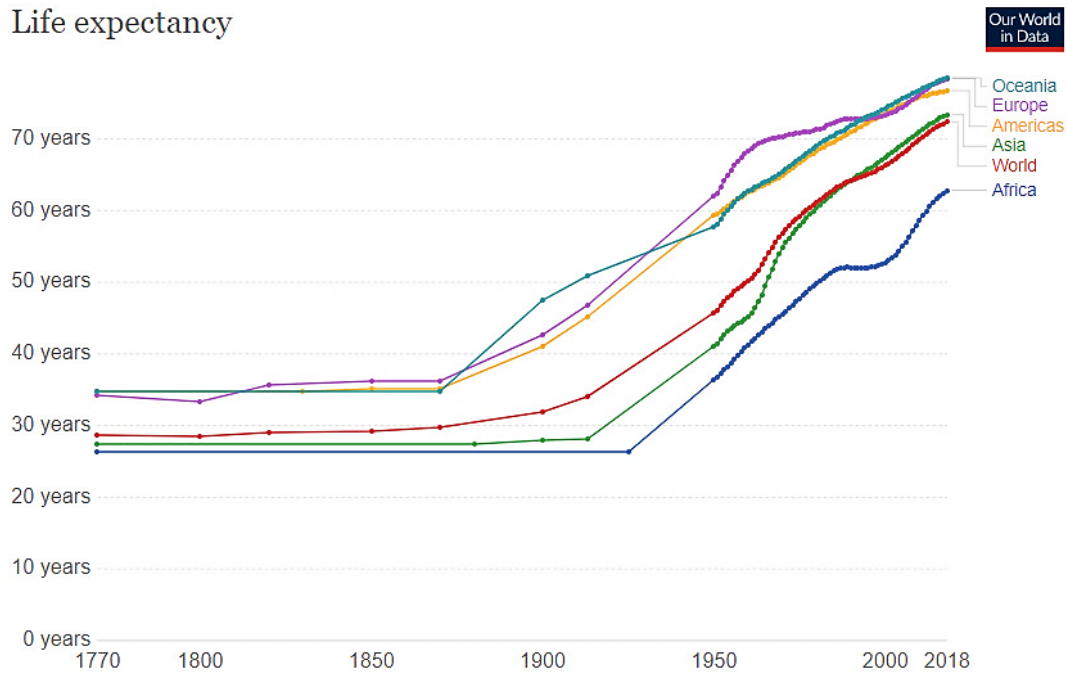


Рис. 1. Тривалість життя за частинами світу, з 1770 по 2018 рік
(https://en.wikipedia.org/wiki/Life_expectancy)

Як зазначає М. Абадіціо [4] впровадження штучного інтелекту в медичних установах відстає від того, що можна було б очікувати, враховуючи фінансування венчурного капіталу, що надходить у медичні фірми, пов'язані з штучним інтелектом, і величезну кількість медичних стартапів у всьому світі.

Статистичні дані свідчать, що у 2017 році найбагатші країни світу витрачали в медичну сферу охорони здоров'я від 4246 до 10 224 доларів на душу населення без безпосередніх витрат на охорону здоров'я. У випадку зі США дослідження показують, що адміністративні витрати призвели до дуже високої вартості медичної допомоги. Деякі аналітики в галузі охорони здоров'я в т. ч. Бен Діксон [2] вважають, що штучний інтелект може зменшити неефективність, характерну для адміністрування медицини, у наданні допомоги.

Технології ШІ в галузі Охорони здоров'я. Досягнення в галузі штучного інтелекту відкривають сучасну медицину правди (доказову)

Оцифрування зображень. Потужний ШІ може забезпечити важливий елемент обробки даних в медичних закладах – оцифрування зображень.

У секторі охорони здоров'я відбувається масова оцифрування всього – від записів пацієнтів і рентгенологічних даних до носимих комп'ютерів і мультиоміки. Це по-новому визначить охорону здоров'я як індустрію, яка керується даними, і коли це станеться, вона використовуватиме силу штучного інтелекту – його здатність постійно вдосконалюватися з більшою кількістю даних.

Коли є достатньо даних, ШІ може виконувати набагато точнішу роботу з діагностики та лікування, ніж лікарі-люди, поглинаючи й перевіряючи мільярди випадків та результатів. ШІ може враховувати дані кожного, щоб відповідно персоналізувати лікування або йти в ногу з величезною кількістю нових ліків, методів лікування та досліджень. Зробити все це якісно і за короткий час виходить за межі людських можливостей.

Програмне забезпечення для медичних операцій було другим за поширеністю додатком штучного інтелекту, які розробляються в сотнях медичних компаній зі штучним інтелектом. Це те, що ми бачимо, як компанії отримують високі прибутки, і це здобуде набагато більше уваги в умовах медичних закладів, ніж діагностична технологія. Причина цього є набагато менші загрози і менша складність. З іншого боку, є очевидні фінансові та оперативні переваги для підвищення ефективності виконання таких завдань, як планування пацієнтів та фінансові операції. Це означає, що у програмному забезпеченні на основі штучного інтелекту для управління медичними установами є багато перспектив.

Автори вважають, що для машинного навчання, ми зможемо отримати більший прогрес тут, ніж у діагностиці в найближчій перспективі в закладах та установах сфери охорони здоров'я.

Діагностика на основі штучного інтелекту. За оцінками аналітиків компаній, які отримують прибутки і у сфері охорони здоров'я, діагностика, за великим рахунком, є найпопулярнішою. Варто зазначити, що діагностичні технології, які розробляються та надаються як «програмне забезпечення як послуга» (Software as a Service), є багатообіцяючими. Варто також зазначити, що машинний зір для обробки медичних зображень (рентгенографія, МРТ, КТ та ін.) є надзвичайно поширеним з точки зору нових додатків ШІ і може стати вартісним товаром. Очікується, що діагностичний ШІ перевершить усіх, крім можливо, найкращих лікарів, у наступні 20 років. Дослідження показали, що штучний інтелект, підготовлений на основі великої кількості відповідних даних, може перевершити лікарів у кількох областях медичної діагностики щодо пухлин мозку, захворювань очей, раку грудей, хвороби шкіри та легенів. Потрібні подальші випробування, але оскільки ці технології впроваджуються і при цьому збирається все більше даних, ШІ починає перевершувати можливості лікарів.

Досягнення будуть поступово охоплювати всі діагнози. Це дозволить отримати діагностичний ШІ для лікарів загальної практики, по конкретній хворобі. В подальшому ШІ може стати лікарем загальної практики або сімейним лікарем. В процесі розвитку ШІ і співпраці з лікарем коли ШІ бере на себе діагностику, більшість лікарів може переходити на роль, схожу на опікунів, при цьому може бути досягнутим симбіоз людини та ШІ.

Трансформація охорони здоров'я через ШІ в напрямку профілактики. Інші аспекти охорони здоров'я окрім діагностики, також можуть трансформуватись під впливом систем ШІ. Інтернет речей в складі ШІ використовується для створення розумних кімнат з датчиками температури, розумними туалетами, ліжками, та іншими видами невидимих гаджетів, які будуть регулярно аналізувати життєві показники та інші дані пацієнтів з метою виявляти можливі кризи здоров'я. Агреговані дані від носних пристроїв дозволять точно визначити стан та перебіг серйозних захворювань, будь то серцево-судинного напрямку, або лихоманки, апное, легеневі захворювання, асфіксія, падіння пацієнтів поза межами контролю, або травми від падіння. Раптові зміни стану можуть викликати сповіщення про пацієнтів, до найближчих родичів або викликати швидку допомогу.

ШІ та персональна і точна медицина. Вище перелічені і інші досягнення ШІ також дозволять проводити огляди здоров'я пацієнтів, які можуть включати МРТ всього тіла, аналізи крові та генетичне секвенування. Як науку даних ШІ можна використовувати, щоб порівняти ці дані з мільярдами інших випадків і рекомендувати персоналізовані зміни в способі життя, сні, їжі, поживних речовинах і ліках, щоб зберегти і покращити здоров'я кожного пацієнта. Точна медицина стає все більш доступною, оскільки стає доступною більше інформації. ШІ також може використовувати великі дані та індивідуальні дані, щоб забезпечити «точне довголіття», готуючи персоналізовані плани харчування, добавок, вправ, сну, ліків і терапії. Біотехнологія омолодження більше не буде обмежуватися виключно для багатих, а стане доступною для всіх.

Розробка і створення нових ліків з допомогою ШІ. Виробництво нових лікарських препаратів на основі розробок ШІ є набагато менш суперечливим ніж лікарі-ШІ. Для отримання успішного препарату чи вакцини сьогодні необхідно фінансування кількох мільярдів доларів а час розробки займає кілька років. Виявляючи закономірності в даних і пропонуючи найбільш достовірних кандидатів моделі штучного інтелекту можуть звузити необхідні ресурси розробки та пошуку нових ліків. В своїх дослідженнях вчені можуть використовувати ці інструменти, що може значно знизити витрати на розробку нових ліків. У 2021 році біотехнологічна компанія Insilico Medicine оголосила про перший відкритий AI препарат для лікування ідіопатичного фіброзу легенів. ШІ Insilico заощадив 90 % вартості двох основних кроків у відкритті ліків.

За даними наукових видань компанія Insilico Medicine розпочинає перше випробування на людях розробленого штучним інтелектом препарату для лікування легеневого фіброзу [7].

Окрім вищезгаданого підходу "in silico" до виготовлення ліків, експерименти компанії проходять "in vitro" у вологих лабораторіях, які включають тестування запропонованих ліків на людських клітинах у чашках Петрі. Цей підхід також може прискорити розробку лікарських препаратів. Вказані експерименти тепер можна проводити більш ефективно з використанням робототехніки, замість з лаборантів. Це дозволяє генерувати величезні обсяги даних. Ці робітників можуть бути запрограмовані вчений з даних на повторення серії експериментів 24/7 без участі людини і отримання необхідних масивів даних. Це значно прискорить розробку ліків.

Роботи для хірургії та нанороботи. Навіть складні операції, які покладаються на витончене рішення та спритні руки, з часом будуть все більш автоматизованими. Робото-технічні операції зросли з 1,8 % усіх операцій у 2012 році до 15,1 % у 2018 році. Вже тепер роботи під наглядом лікаря можуть виконувати напівавтономні хірургічні завдання, такі як колоноскопія, накладення швів, кишковий анастомоз та імплантація зубів,

Оскільки AI навчається на великих даних, роботизовані операції можуть перейти від хірурга-людини, який керує роботом, до хірурга, який наглядає за роботом і делегує деякі завдання. Це в кінцевому підсумку може привести до повністю автономних хірургічних роботів. Екстраполюючи цю тенденцію, ми можемо очікувати, що в усіх операціях за 20 років буде задіяна певна частина за участю роботів. Очікується, що більшість хірургічних операцій становитимуть повністю автономні роботизовані операції.

Нарешті, поява медичних нанороботів запропонує численні можливості, які перевершують людських хірургів. Ці мініатюрні (від 1 до 10 нанометрів) боти можуть відновлювати пошкоджені клітини, боротися з раком, виправляти генетичні недоліки та замінювати молекули ДНК, щоб знищити хворобу.

Стан III в сфері охорони здоров'я

Проблемні сфери. Впровадження III, що пов'язано з процесами автоматизації та використанням робототехніки вимагає вирішення багатьох серйозних проблем. Серед них – юридичні, етичні і моральні питання. Деяким людям буде морально неприємно, щоб машини коли-небудь ухвалювали рішення, які впливають на здоров'я та життя людей, навіть якщо медична допомога на основі штучного інтелекту може з часом врятувати мільйони життів.

За усталеної сьогодні практики, коли лікар або хірург спричиняють смертельні випадки, вони відповідають за судовими та нормативні процеси, які вирішують, чи вони діяли належним чином, і, якщо ні, визначають відповідальність та наслідки. Але що станеться, якщо III спричинить смерть? Чи може III пояснити своє прийняття рішень зрозумілим, юридично та морально виправданим способом?

Нещасний випадок або смертельний результат, пов'язаний із III, призведе до необхідності розслідування, щоб визначити хто несе відповідальність і в якій мірі? Це може стосуватися виробників обладнання або постачальників алгоритму III. Відповідальними можуть бути і компанія з розробки програмного забезпечення, що написала та поставила коди алгоритму або лікар, який здійснює нагляд. Необхідно розробити закони та нормативні акти, які закріплюють відповідальність і захищають людей від небезпечного програмного забезпечення. Важливо при цьому також забезпечити, щоб не зупинилося технологічне вдосконалення через надмірні обмеження та відшкодування.

Технологічні і організаційні проблеми. З точки зору керівників компаній постачальників штучного інтелекту, які займаються продажами у сфері охорони здоров'я, головні причини повільного впровадження III в охорону здоров'я є:

- а) не впевненість покупців в рентабельності інвестицій та
- б) нестаток технологічних талантів і ресурсів для впровадження III.

По відношенні до першої причини зрозуміло, що важко виміряти рентабельність інвестицій у сфері охорони здоров'я: рентабельність інвестицій може оцінюватися різними зацікавленими сторонами по-різному. Нове діагностичне програмне забезпечення з підтримкою штучного інтелекту може допомогти адміністрації закладу зекономити кошти. Проте це оновлення повинно бути таким, що лікарі можуть та готові використовувати. Крім того молодший персонал – медсестри це можуть навчитися розуміти. При цьому його вплив на результати роботи з пацієнтами має бути зрозумілим і мати потенційний вимір.

Питанням є і те, що ми вимірюємо. Це може бути:

- фінансові кошти заощаджені медичним закладом,
- заощадження особистих витрат для пацієнта,
- оцінка результатів здоров'я пацієнтів.

Якщо критерій є результати здоров'я пацієнтів, то необхідно вирішити питання: – які показники мають використовуватись?

Дефіцит талантів III та перспективи їх залучення. Медичні заклади, лікарні і медичні фірми не завжди мають можливість дозволити собі залучити високоякісний талант III, щоб допомогти інтегруванню та впровадженню технології III. Фармацевтичні фірми, разом з тим, витрачають великі суми в дослідженнях і розробках і можуть залучати талановитих спеціалістів з найкращих шкіл, в той час як більшість лікарень або лікарняних мереж не в змозі дозволити собі – або не в змозі утримати – найкращий талант у галузі науки про дані. При наявності достатнього фінансування у медичних закладах і установи для залучення талантів необхідні зміни в самій структурі медичної галузі. Щоб наймати висококваліфікованих спеціалістів, необхідно б помістили цих професіоналів у середовище, готове до трансформації III. На теперішній момент – це світ із жакливою інфраструктурою даних, у якому дуже мало спеціалістів, які можуть говорити мовою науки про дані. Крім того кандидати зустрінуться також з правилами та питаннями дотримання особливих вимог на кожному кроці.

Як претендент на вирішення дефіциту талантів в III медичної галузі може розглядатись екосистема стартапів III. Ця екосистема стартапів III в медичній галузі все ще лише зароджується. Дослідження

показують, що на даний час можливо лише третина компаній з існуючих хоч якимсь чином застосовують ШІ і тільки. Це означає, що менше ніж 1 з 8 або 9 компаній зі штучним інтелектом, які володіють талантом і досвідом у сфері штучного інтелекту, можуть мати реальний прогрес в більш-менш значущий спосіб. У 2018 році ці цифри були схожі на 1 до 10, тож, хоча ми спостерігали загальне покращення поступу ШІ при цьому цей поступ був повільним та напруженим [6].

Оцінка проблем та впровадженнь ШІ в галузі охорони здоров'я і можливі рішення. Серед важливих проблем використання ШІ в медичній галузі є проблеми розгортання систем штучного інтелекту в медичній галузі та існуючі тенденції застосування в медичних закладах. В цьому аспекті можна виділити декілька проблемних напрямків:

Проблеми з програмними додатками ШІ при використанні в умовах медичних установ і лікарень

Проблема «чорної скриньки». Перші системи ШІ середини минулого століття, які дозволяли приймати рішення або передбачити розвиток подій на основі експертних оцінок, та алгоритмів з використанням бінарної логіки і використанням операторів умови з розгалуженням типу "If-Then-Else" замінені в новому трактуванні ШІ системами Машинного Навчання. Перехід до концепцій «навчання» програмного забезпечення за допомогою машинного навчання або принципів глибокого навчання, що включає в себе використання принципу багаторівневих нейронних мереж з встановленням ряду вузлів для виявлення шаблонів і фільтрацію їх за допомогою розпізнаних позначених прикладів (labeled examples) до точки, коли система може передбачити вихід на основі вхідних даних. Для лікарів і медичного персоналу, що є користувачами результатів роботи ШІ сприйняття і розуміння алгоритму на принципах "If-Then-Else" є набагато легшим ніж розуміння алгоритмів на базі машинного навчання. Оскільки перші базувалися на класичному науковому методі дедукції що заснований на усталеній людській логіці, і може зводитись до консенсусного процесу. Наприклад групи експертів з встановлення діагнозу може бути аналогом роботи алгоритму ШІ першого покоління що дає розуміння, як програмне забезпечення поставило конкретний діагноз. Однак у версії ML того ж сценарію не було б легко зрозуміти умов "If-Then-Else". Програмне забезпечення алгоритму МН, в ідеалі, збирало б дані мільйонів пацієнтів і виявляло б закономірності в їхній історії хвороби, способі життя, віку, професії, етнічній приналежності тощо, щоб встановити можливі діагнози для конкретного пацієнта. Це є проблема «чорної скриньки», яким постає ШІ в сценарії МН.

У лікарів можуть бути різні думки щодо точності діагнозів, але навіть якщо вони погодяться з ними, вони не зможуть пояснити, як працює алгоритм. Як лікарю, важко справді лікувати людей, не маючи змоги придумати пояснення їх діагнозу, не вдаючись до складних питань. У результаті лікарі не бажають використовувати системи штучного інтелекту, не розуміючи їхньої логіки, навіть якщо ці системи можуть статистично поставити кращі діагнози, ніж самі лікарі.

При вирішенні проблеми чорної скриньки експертами висловлюється кілька практичних поглядів. Стівен Гуланс з Excel VM є венчурним інвестором і є одним із десятків опитаних інвесторів, щодо певних програм штучного інтелекту в галузі охорони здоров'я [4]. З опитування видно, існування віри, що з точки зору машинного навчання, проблема чорної скриньки відносно діагностики та лікування може бути не першою областю, якою машинне навчання повинно займатись.

З опитувань випливає також, що ШІ краще використовувати в програмах, не пов'язаних з діагностикою або плануванням лікування, таких як:

- Дослідження та розробка нових ліків.
- Управління групами пацієнтів та призначеннями лікування.
- Використання передового досвіду роботи лікарні.

Проблема складних відносин між зацікавленими сторонами при інтеграції технології штучного інтелекту в медичні галузі. Іншою проблемою, притаманною лікувальним закладам та медичним установам, є складні стосунки між зацікавленими сторонами, що долучені до проєкту. В індустрії послуг лікарня не є аналогом послуг в інших сферах. Її не варто порівнювати з роботою компаній подібних як Amazon. Паралелей між ними дуже мало, коли йдеться про вплив ШІ на зацікавлених сторін. Наприклад, при впровадженні Amazon ШІ для покращення рекомендацій щодо продуктів, компанія платить за технологію, яка дозволяє клієнтам отримати кращий досвід роботи на платформі Amazon. В результаті це спонукає клієнтів витратити більше грошей на платформу, що дає позитивний ефект для всіх членів команди Amazon. Їх стимулюють використовувати ШІ для підвищення доходу та/або прибутку, навіть якщо це трохи важко налаштувати.

З іншого боку, коли лікарня застосовує технологію штучного інтелекту для покращення МРТ (Магнітно – резонансна томографія) і КТ (комп'ютерна томографія), пацієнт може навіть не усвідомлювати,

що використовується ШІ. Інвестування в штучний інтелект не має жодних переваг з точки зору задоволеності пацієнтів. Навіть якщо ця технологія призведе до кращих результатів для пацієнтів і зниження витрат, зараз не буде конкретного способу оцінити це.

Проблема адаптації персоналу. Інтеграція технології штучного інтелекту в медзаклади також вимагає від лікарів, медсестер і медичних техніків навчитися її використовувати, і в більшості випадків вони можуть не отримувати гроші за свої зусилля. Крім того, вони можуть відчувати загрозу, що технологія штучного інтелекту захопить їх роботу, тому у них взагалі немає стимулів використовувати ШІ.

Активний опір зрозумілий у ситуаціях, коли машини можуть перевершити людей. Лікарі, зокрема, можуть бути емоційно чутливими до того, щоб їх замінила машина після всього часу, проведеного в медичній школі.

Найкращий спосіб подолати це тертя щодо впровадження штучного інтелекту в лікарнях – це те, щоб компанії, що займаються штучним інтелектом, узгодили стимули з усіма зацікавленими сторонами та залучили їх до ідеї ШІ. Це може включати:

- забезпечення значного покращення та оприлюднення результатів для пацієнтів на основі досліджень, щоб продемонструвати конкретну рентабельність інвестицій;
- позиціонування ШІ в основному для виконання завдань, яких лікарі, медсестри та медичні техніки взагалі не хочуть виконувати;
- розвивати спеціалізований ШІ, щоб доповнити навички лікарів загальної практики за межами лікарень великого міста, оскільки це буде становити меншу загрозу розвитку.

Адаптація іновачій ШІ в медицині. Ажітаж навколо штучного інтелекту приводить керівників різних галузей до хибної віри в те, що їхні колеги жадібно впроваджують ШІ і що вони відстають. Хоча реалістичне розуміння штучного інтелекту і довгострокове бачення цифрової трансформації, яке базується на цьому розумінні – є важливі. Але це не означає, що керівники сфери охорони здоров'я повинні прагнути бути «новаторами» або «ранніми впроваджувачами» штучного інтелекту.

За даними М. Абадіціо (2020) в життєвому циклі інновацій в сфері ШІ в галузі охорони здоров'я ранні іноватори сягають лише до 13,5 % (рис. 2). В той же час більшість впроваджень, майже 68 %, займають часовий сегмент не надто раннього, поміркованого характеру.

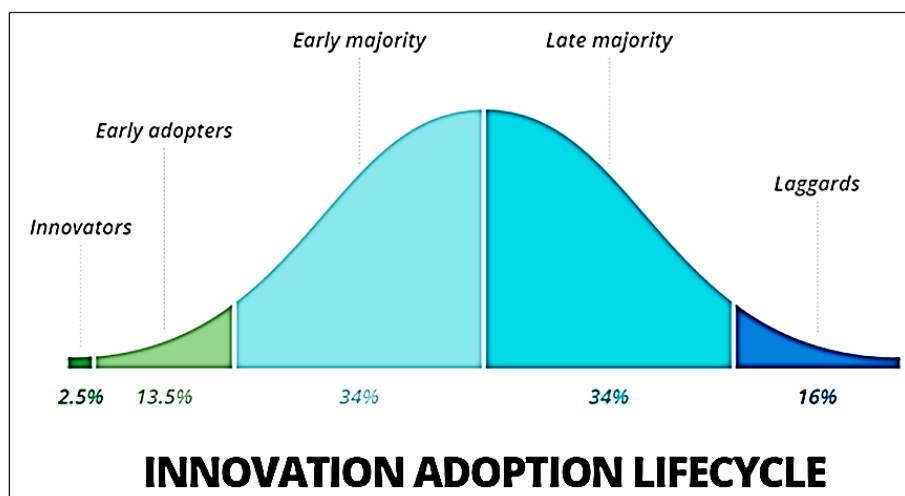


Рис. 2. Життєвий цикл інновацій ШІ в Медичній галузі

Передумови для ШІ, як успішної науки про дані. Аналітики даних разом з фахівцями медичних галузей вдосконалюють і розробляють новітні технології, що покращують машинне навчання та аналіз даних в охороні здоров'я.

Д. Чен (Google Cloud) і група дослідників розглядаючи питання успішного використання і впровадження систем ШІ на базі науки даних в медичну галузь, зазначають основні передумови, що є необхідні для цього:

- достатня кількість чистих, неупереджених даних,
- розширена аналітика/методи штучного інтелекту,
- публічне застосування та розгортання в реальних умовах в потрібному місці.

Розшифровуючи більш детально ці передумови, необхідно визначити, що потрібно насправді мати інформацію, яка необхідна для вирішення проблеми, яку ви вирішуєте.

Виходячи з того, що алгоритми МН принципово стосуються трансформації інформації, не можливо створити інформацію за відсутності даних. Отже, якщо інформації, яка подається в алгоритм типу машинного навчання, насправді не включає достатньо багато даних про те, що ми намагаємося зрозуміти, то неможливо буде досягти бажаного результату. Це також вимагатиме розширеної аналітики та методів штучного інтелекту.

Алгоритми, які застосовуються до сьогоdnішніх проблем, набагато складніші, ніж ті, що використовувались в минулому.

Глибоке навчання (ГН), як розвиток машинного [10] реально вийшло на перший план для візуалізації з 2012 року.

Можна стверджувати, що за кілька років до цього ГН вийшло на перший план для розпізнавання мови і перекладів.

На теперішній час, зауважуючи про те, щоб дійсно використовувати дані сучасними способами, ми називаємо ці передові методи аналітики та штучного інтелекту.

І третій, важливий аспект, це те, що доводиться визначати насправді правильні виходи в потрібне місце. Необхідно насправді подумати про те, яким чином ви розгортаєте свою аналітику та свою статистику. Щоб від алгоритмів машинного навчання результат був отриманий в тому місці, де воно насправді може бути ефективним.

Технології, що покращують машинне навчання та аналіз даних в охороні здоров'я. Можна виокремити чотири ключові технології, які, доступні зараз, і будуть розвиватися протягом, наступних років чи десятиліть. Ці технології будуть дійсно ефективними в питанні вирішення деяких проблем в у сфері охорони здоров'я і пов'язані з використанням машинного навчання та аналітики даних. До них можна віднести Масштабне зберігання та аналітику даних. Питання в тому, як насправді отримувати дані з багатьох пунктів в одне місце, щоб мати можливість загальної аналітичної обробки. З всіма даними необхідно зробити те ж саме і не мати при цьому розпорошення зусиль на невеликі обсяги даних в різних локаціях.

Сенсорні мережі та персональні обчислення – технології, які ми використовуємо, щоб насправді робити більш точні вимірювання та робити їх більше.

Також технологія використання обчислювальних пристроїв, в т. ч. мобільних, які пацієнти можуть або носити з собою, щоб підвищити нашу здатність розуміти, що відбувається.

У сфері машинного інтелекту, є багато проблем, які ще потрібно вирішити і виконати дослідження над фундаментальними прийомами глибокого навчання. особливо вивчаючи інші машинні техніки і технології.

Однією з ключових проблем, з якою зараз стикаються багато з цих методів, є те, що багато з них є жадібними до даних. Для отримання результату вони вимагають набагато більше даних, ніж ті, до яких можна мати доступ.

І тому потрібно розробити алгоритми, які все ще можуть надавати точні уявлення, використовуючи при цьому меншу кількість прикладів.

Ілюстративно, це означає, якщо для алгоритму потрібно мільярд прикладів людей з певною хворобою, то цього практично неможливо отримати, тому що це вимагає, мільярд людей заражених цією хворобою, особливо якщо це рідкісне захворювання.

Якщо реально вимагається стільки прикладів, то цього просто не вдасться отримати. Тому необхідно зрозуміти шлях, як отримати те, що потрібно, маючи лише обмежені дані від кількості людей, які трапляються з певною хворобою, або кількість людей, до даних яких ви випадково маєте доступ.

Публічні хмарні обчислення або публічна хмара – це один із способів. Це один із видів технологій, який дійсно допомагає вирішувати проблеми в цій галузі. Насправді, в кожній з ключових технологій, що використовуються, задіяні хмарні технології. І тому однією з яких є стає сама хмарна технологія. Як підсумок в цьому питанні можна констатувати наступне:

Для забезпечення роботи і використання ШІ необхідне відповідне апаратне та програмне забезпечення.

Необхідно докладати зусилля для скорочення «жадібних до даних» методів машинного навчання там, де достатньої кількості даних обмаль. Мета полягає в тому, щоб створити точні і надійні моделі ШІ з алгоритмами, що працюють з урахуванням менших наборів даних.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Дослідження 2019 року [4] показує, що ринки медичних послуг з штучним інтелектом зростатимуть на 41,7 % щорічно до 13 мільярдів доларів до 2025 року в таких сферах, як робочий процес у лікарні, носні пристрої, обробка медичних зображень та діагностика, планування терапії, віртуальні помічники та, що особливо важливо, розробка ліків. Прискорення та зростання темпів цих процесів надає пандемія COVID-19. ШІ започатковує епоху сучасної медицини правдивої та доказової.

Не потрібно розглядати охорону здоров'я з штучним інтелектом як просто ринок. Насправді – це хвиля перетворень, які змінять всю галузь. Охорона здоров'я на основі штучного інтелекту надає перспективу, людському суспільству мати здоровіше і довше життя.

Світові експерти в галузі Штучного Інтелекту оцінюючи стан і темпи розвитку ШІ приходять до висновку, що через 20 років ШІ зможе вимірювати та покращувати здоров'я людей, а також допомагати нам отримувати більше щасливих моментів в життєвому циклі кожної людини.

Разом з тим подальше впровадження ШІ в медичну сферу має ряд актуальних проблем, Серед них важливими є Проблеми з програмними додатками ШІ при використанні в умовах медичних установ і лікарень. Це проблема відповідальності і відповідності результатів – «чорна скринька». Також проблема впровадження прикладних досліджень за наявності досвіду, якого не вистачає – «проблема курки та яйця». А також складні відносини між зацікавленими сторонами досліджень і впровадження ШІ. Ці проблеми не є короточасними і потребуватимуть рішення в досить довій перспективі. Аналіз наукових досліджень і практики свідчить про те, що конкурентність на ринку медичних послуг, фінансові та інші економічні важелі, нові відкриття а також нарощування великих масивів медичних даних дають оптимістичні оцінки вирішення цих проблем і невідпинності розвитку ШІ в сфері охорони здоров'я.

Список використаних джерел:

1. Кай-Фу Лі. Наступна революція в галузі охорони здоров'я матиме в своєму центрі ШІ. (2021.). URL: <https://kaifulee.medium.com/the-next-healthcare-revolution>
2. Бен Діксон. ШІ може допомогти зменшити адміністративні витрати на охорону здоров'я. URL: <https://venturebeat.com/2018/04/08/ai-could-help-reduce-the-administrative-costs-of-health-care/>
3. Кай-Фу Лі, Чень Цюфань. AI 2041: Десять візій для нашого майбутнього. (2021). URL: <https://techcrunch.com/2021/09/20/the-next-healthcare-revolution-will-have-ai-at-its-center/>
4. Абадіціо М. ШІ в умовах лікарні (2017). URL: <https://emerj.com/author/>
5. Тривалість життя за частинами світу. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Life_expectancy
6. Даніель Фагелла. (2020) ШІ Шукає аплікантів на відповідність, контракти та людські ресурси. URL: <https://emerj.com/partner-content/ai-search-applications/>
7. Конон Хейл. Фармкомпанія Insilico починає перше випробування на людях свого препарату, розробленого штучним інтелектом, для лікування при фіброзі легенів. URL: <https://www.fiercebiotech.com/medtech/insilico-medicine-begins-first-human-trial-its-ai-designed-drug-for-pulmonary-fibrosis>
8. Даніель Фагелла. (2019). Програми машинного навчання – для розробки нових ліків – Pfizer, Roche, GSK тощо. URL: <https://emerj.com/ai-sector-overviews/machine-learning-drug-discovery-applications-pfizer-roche-gsk/>
9. Лін З., Го Р., Ван І., Ву Б., Чен Т., Ван, Ван, (2018) (in English) Структура для виявлення діабетичної ретинопатії на основі виявлення протишумів та синтезу на основі уваги. Міжнародна конференція з обчислення медичних зображень та комп'ютерної підтримки.
10. Бродкевич В. М., Ремесло В. Я. Алгоритми Машинного Навчання (МН) та Глибокого Навчання (ГН) і їх використання в прикладних додатках. (2018) Міжнародний науковий журнал «Інтернаука» № 11 (51) 1т.

References:

1. Kai-Fu, Lee (Dec 24, 2021). The Next Healthcare Revolution Will Have AI at Its Center. (Dec 24, 2021). Retrieved from: <https://kaifulee.medium.com/the-next-healthcare-revolution> [in English]
2. Ben Dickson. (2018) AI could help reduce the administrative costs of health care. URL: <https://venturebeat.com/2018/04/08/ai-could-help-reduce-the-administrative-costs-of-health-care/> [in English]
3. Kai-Fu, Lee, Chen, Qiufan. (2021) AI 2041: Ten Visions for Our Future. URL: <https://techcrunch.com/2021/09/20/the-next-healthcare-revolution-will-have-ai-at-its-center/> [in English]
4. Abadicio M. (2019) AI in the Hospital Setting. URL: <https://emerj.com/author/> [in English]
5. Life expectancy. Wikipedia (2022). URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Life_expectancy [in English]
6. Daniel Faggella. (2020) AI Search Applications for Compliance, Contracts, and Human Resources. URL: <https://emerj.com/partner-content/ai-search-applications/> [in English]
7. Conon, Hale. (2021). Insilico Medicine begins first human trial of its AI-designed drug for pulmonary fibrosis. URL: <https://www.fiercebiotech.com/medtech/insilico-medicine-begins-first-human-trial-its-ai-designed-drug-for-pulmonary-fibrosis> [in English]
8. Daniel, Faggella. (2019) Machine Learning Drug Discovery Applications – Pfizer, Roche, GSK, and More. URL: <https://emerj.com/ai-sector-overviews/machine-learning-drug-discovery-applications-pfizer-roche-gsk/> [in English]
9. Lin, Z., Guo, R., Wang, Y., Wu, B., Chen, T., Wang, W. (2018) A framework for identifying diabetic retinopathy based on anti-noise detection and attention-based fusion. International Conference on Medical Image Computing and Computer-Assisted. [in English]
10. Brodkevych, V. M., Remeslo, V. Y. (2018). Alhorytmy Mashinnogo Navchannja (MN) ta Glybokogo Navchannja (GN) i ih vykorystannja v prykladnyh dodatkah [Algorithms of Machine Learning (MN) and Deep Learning (GN) and their use in applied applications]. Miznarodnyi naukovyi zurnal "Internauka" – International scientific journal "Internauka". No. 11 (51) 1t. [in Ukrainian]

УДК 004.77:330.33-025.12

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.4>

Микола ВАСИЛЕНКО

доктор фізико-математичних наук, доктор юридичних наук, професор, професор кафедри кібербезпеки, Національний університет «Одеська юридична академія», вул. Рішельєвська, 28, Одеса, Україна, індекс 65011 (vasylenko.it@journals.maup.kiev.ua)

ORCID: 0000-0002-8555-5712

Станіслав ГОРБАЧЕНКО

доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри кібербезпеки, Національний університет «Одеська юридична академія», вул. Рішельєвська, 28, Одеса, Україна, індекс 65011 (stasgorbachenko@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-8442-9581

Валерія СЛАТВІНСЬКА

викладач кафедри кримінального права, процесу та криміналістики, Міжнародний гуманітарний університет, вул. Фонтанська дорога, 33, Одеса, Україна, індекс 65000 (slatvinskaya_valeriya@ukr.net)

ORCID: 0000-0002-6082-981

Олена ЧЕПУРНА

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри кібербезпеки, Національний університет «Одеська юридична академія», вул. Рішельєвська, 28, Одеса, Україна, індекс 65011 (chepurna67@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-1432-0799

Mykola VASYLENKO

Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Doctor of Law, Professor, Professor at the Department of Cybersecurity, National University "Odesa Law Academy", 28 Richelevskaya str., Odesa, Ukraine, postal code 65011 (vasylenko.it@journals.maup.kiev.ua)

Stanislav HORBACHENKO

Doctor of Economic Sciences, Professor, Professor at the Department of Cybersecurity, Head of the Department of Cyber Security, National University "Odesa Law Academy", 28 Rischelevskaya str., Odesa, Ukraine, postal code 65011 (stasgorbachenko@gmail.com)

Valeria SLATVINSKAYA

Lecturer at the Department of Criminal Law, Procedure and Criminalistics, International Humanitarian University, 33 Fontanskaya doroga str., Odesa, Ukraine, postal code 65000 (slatvinskaya_valeriya@ukr.net)

Olena CHEPURNA

PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Cybersecurity, National University "Odesa Law Academy", 28 Rischelevskaya str., Odesa, Ukraine, postal code 65011 (chepurna67@gmail.com)

Бібліографічний опис статті: Василенко, М., Горбаченко, С., Слатвінська, В., Чепурна, О. (2022). Сценарне планування як інструмент безперервного бізнесу: web-технології (комплексний підхід). *Інформаційні технології та суспільство*, 2 (4), 29–35. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.4>

Bibliographic description of the article: Vasilenko, M., Horbachenko, S., Slatvinska, V., Chepurna, O. (2022). Stsenarne planuvannia yak instrument bezperervnoho biznesu: web-tekhnologii (kompleksnyi pidkhid) [Scenario planning as a tool for continuous business: web-technologies (integrated approach)]. *Informatsiini tekhnologii ta suspilstvo – Information technology and society*, 2 (4), 29–35. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.4>

СЦЕНАРНЕ ПЛАНУВАННЯ ЯК ІНСТРУМЕНТ БЕЗПЕРЕРВНОГО БІЗНЕСУ: WEB-ТЕХНОЛОГІЇ (КОМПЛЕКСНИЙ ПІДХІД)

Для запобігання збоїв у роботі організації з відповідними втратами організації необхідно підтримувати функціонування критичних систем, до яких відносять CRM-системи і які фактично представляють собою прикладне програмне забезпечення для організацій, призначене для автоматизації стратегій взаємодії із замовниками (клієнтами). При цьому користуються «WEB-технологіями», під якими зазвичай мають на увазі мови розмітки, мови програмування, бази даних, системи та платформи CMS та інші технології, що дозволяють створювати веб-сайти, програми та магазини. В статті обґрунтовано використання ERP/CRM-системи та її складових щодо створення багатофункціональної WEB-платформи безперервного бізнесу з відповідним практичним наповненням. Аналіз публікацій та досліджень з CRM свідчить про необхідність постійного оновлення відповідного програмного забезпечення, а також розвитку його методологічного підґрунтя і потребує постійного моніторингу, додаткового вивчення щодо практичних рекомендацій для поліпшення ефективності роботи персоналу в середовищі CRM-системи. Доведено, що модульний принцип організації ERP систем дозволяє впроваджувати дані системи поетапно, послідовно переводячи в експлуатацію один або кілька функціональних модулів, а також вибирати ті, які актуальні для організації. Крім того, модульність ERP-систем дозволяє будувати рішення на основі декількох ERP-систем, вибираючи з кожної найкращі у своєму класі модулі (best-of-breed). Розбивка за модулями та його угруповання різна, але в більшості основних постачальників виділяються групи модулів: фінанси, персонал, операції. В результаті розвиток CRM технологій та інших систем керування та адміністрування взаємовідносин між виробниками та споживачів стає запорукою активного розвитку бізнесу будь якого масштабу. Для спільної ефективної взаємодії та управління маркетингом та продажами, потрібно забезпечити ефективний єдиний інформаційний простір, дружній до користувачів, що і надає саме CRM, CRM-системи та інші, схожі за функціоналом та змістом системи. Подальші дослідження та удосконалення таких систем, мають відбуватися в напрямку охоплення усіх ланок виробництва та реалізації, удосконалення вже існуючих та розробки нових корисних застосунків.

Ключові слова: безперервний бізнес, ERP-система, CRM, WEB-технології, застосунок, автоматизація.

SCENARIO PLANNING AS A TOOL FOR CONTINUOUS BUSINESS: WEB-TECHNOLOGIES (INTEGRATED APPROACH)

To prevent disruptions in the work of the organization with the corresponding losses of the organization is necessary to maintain the functioning of critical systems, which include CRM-systems and actually represent the application software for organizations designed to automate strategies for interaction with customers (clients). In this case use the WEB-technologies, under which usually mean markup languages, programming languages, databases, systems and CMS platforms and other technologies that allow you to create websites, applications and stores. The article substantiates the use of ERP/CRM-system and its components to create a multifunctional WEB-platform for continuous business with appropriate practical content. Analysis of publications and research with CRM shows the need for continuous updating of the relevant software, as well as the development of its methodological framework and requires constant monitoring, further study of practical recommendations to improve staff performance in the CRM-system. It is proved that the modular principle of organization of ERP systems allows introducing these systems stage by stage, consistently translating one or more functional modules, as well as choosing the modules that are relevant to the organization. In addition, the modularity of ERP systems allows you to build solutions based on several ERP systems, choosing from each of the best-in-class modules (best-of-breed). The breakdown of modules and their grouping is different, but most major vendors have groups of modules: finance, personnel, and operations. As a result, the development of CRM technologies and other systems of management and administration of relations between producers and consumers becomes the key to active development of business of any scale. For a joint effective interaction and management of marketing and sales, it is necessary to provide an effective common information space, friendly to users, which provides exactly the CRM, CRM-systems and other similar to the functionality and content of the system. Further research and improvement of such systems should take place in the direction of covering all links of production and realization, improvement of existing and development of new useful applications.

Key words: continuous business, ERP-system, CRM, WEB-technology, application, automation.

Актуальність проблеми. Збій у роботі організації, як правило, призводить до втрати прибутку. Для запобігання цих втрат організація повинна якомога довше підтримувати функціонування критичних систем, до яких відносять CRM-системи ((Customer Relationship Management), (укр. – управління відносинами з клієнтами)). Вони призначені для оптимізації бізнес-процесів із взаємодії з потенційними та наявними клієнтами [1]. CRM-система фактично представляє собою прикладне програмне забезпечення для організацій, яке призначене для автоматизації стратегій взаємодії із замовниками (клієнтами), зокрема для підвищення рівня продажів, оптимізації маркетингу та покращення обслуговування клієнтів шляхом збереження інформації про клієнтів та історії взаємовідносин з ними, встановлення та покращення бізнес-процесів та подальшого аналізу результатів. Вона виступає як система і як підсистема інших складніших систем. Сьогодні вже важко уявити складський або бухгалтерський облік без застосування спеціалізованого програмного забезпечення. Торгові представники мають використовувати спеціальні додатки для оформлення та відправлення замовлення в офіс з мобільного телефону (планшету), а досить велика частина замовлень приходить із сайту вже у ви-

гляді готових до обробки документів. У той же час взаємини з клієнтами, принаймні в середньому та малому бізнесі, чомусь дуже часто ведуться без впровадження CRM-систем та достатньої уваги до обліку. CRM виходить із того, що центром філософії бізнесу вважається клієнт, а головними напрямками діяльності компанії є заходи щодо забезпечення ефективного маркетингу, продажу та обслуговування клієнтів. Підтримка цих бізнес-цілей включає збирання, зберігання та аналіз інформації про споживачів, постачальників, партнерів, а також про внутрішні процеси компанії. Функції підтримки цих бізнес-цілей включають продажі, маркетинг, підтримку споживачів. Зазначимо, що план безперервності бізнесу містить важливу інформацію про системи і процеси, які організація повинна підтримувати, щоб продовжувати працювати, коли стикається з несприятливими подіями. Тоді для аналізу та опрацюванню критичних ситуацій використовується технологія сценарного планування. При цьому під плануванням ресурсів підприємства (Enterprise Resource Planning (ERP) мається на увазі організаційна стратегія інтеграції виробництва та операцій, управління трудовими ресурсами, фінансового менеджменту та управління активами, орієнтована на безперервне балансування та оптимізацію ресурсів підприємства за допомогою спеціалізованого інтегрованого пакета прикладного програмного забезпечення, що забезпечує загальну модель даних та процесів для всіх сфер діяльності [1], [2]. При цьому користуються «WEB-технологіями», під якими зазвичай мають на увазі мови розмітки, мови програмування, бази даних, системи та платформи CMS та інші технології, що дозволяють створювати веб-сайти, програми та магазини.

Метою статті є обґрунтування використання ERP/CRM-системи та її складових щодо створення багатофункціональної WEB-платформи безперервного бізнесу з відповідним практичним наповненням.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Дослідженням функціонування та використання CRM у розробці і аналізі бізнес-процесів на підприємстві у різні роки займалися такі вчені: С. Антощук, Є. Мірошникова, М. Окландер, Л. Парех, К. Пенн, О. Птащенко, О. Сохацька, О. Фомін та ін. Але швидкоплинний розвиток інформаційного простору потребує свіжого погляду на проблеми, пов'язані з використанням таких систем у бізнесі. Також, слід зазначити, що багато українських компаній все ще ведуть облік покупців в Excel, або інших офісних програмах. Що не сприяє розвитку масштабуванню бізнесу. Щоб утримати існуючих і нових клієнтів, доводиться шукати ефективні інструменти автоматизації (зокрема, Bitrix24, Jira, Trello). А разом з тим оптимізувати внутрішні процеси і працювати над підвищенням продуктивності співробітників.

Необхідно зауважити, що в зарубіжній літературі поняття «системи управління взаємовідносинами з клієнтами» зустрічається набагато частіше, а науковці не лише публікують праці, але й активно здійснюють «просвітницьку діяльність» серед практиків за допомогою відкритих лекцій, семінарів. В числі науковців, коло інтересів яких пов'язане з CRM, можна назвати зарубіжних авторів: П. Гринберга [1], Ф. Ньюела [2], П. Молино [3], Є. Пейна [4]. Свої розробки на вітчизняних теренах пропонують А. Кудінов [5], [6], С. Трофімов [7] та інші.

Відомо, що сучасна конкуренція відбувається на рівні сервісу, який, в свою чергу, вимагає зовсім інших технологій і підходу, яким є CRM [8].

Власне концепція CRM використовувалася ще в середні століття з розвитком середньовічного міста як колись сучасної цивілізації. У торговців була організована фіксація всієї необхідної інформації про клієнтів і факти відносин з ними. Сама аббревіатура CRM стала набирати популярність з середини 90-х років XX століття.

Огляд літературних джерел показав, що всі визначення CRM мають спільні риси, зокрема, орієнтацію на отримання значних позитивних ефектів у довгостроковій перспективі, задоволення потреб та очікувань клієнта.

За допомогою CRM-функціональності різних систем автоматизуються багато процесів з обслуговування клієнтів, а вся накопичена інформація про клієнта слугує цілям подальшого сервісу продажів і маркетингу [9]. Засоби в сфері менеджменту відносин з клієнтами дають змогу здійснити економії на багатьох витратах, скоротити час виконання широкого кола операцій, та найголовніше – концентруватись на потребах конкретного споживача (груп споживачів) та завоювати його довгострокову прихильність.

Лева кількість публікацій та досліджень з CRM свідчить про необхідність постійного оновлення відповідного програмного забезпечення, а також розвитку методологічного його підґрунтя і потребує постійного моніторингу, додаткового вивчення щодо практичних рекомендацій для поліпшення ефективності роботи персоналу в середовищі CRM-системи.

Виклад основного матеріалу. Для створення багатофункціональної WEB-платформи найбільш перспективною слід вважати саме універсальну концепцію ERP (Enterprise Resource Planning, планування ресурсів підприємства), в основі якої лежать достатньо (більш) простіші концепції MRP (Material

Requirement Planning – планування матеріальних потреб) і MRP II (Manufacturing Resource Planning – планування виробничих ресурсів). В ній (ERP-системі) використовується програмний інструментарій, який дозволяє проводити виробниче планування, моделювати потік замовлень і оцінювати можливість їхньої реалізації в службах і підрозділах підприємства, пов'язуючи його зі збутом. Використання ERP системи дозволяє використовувати одну інтегровану програму замість декількох розрізнених. Єдина система може керувати обробкою, логістикою, дистрибуцією, запасами, доставкою, виставлянням рахунків, бухгалтерським обліком, податковим обліком, програмою лояльності [10].

Система розмежування доступу до інформації, яка реалізована в ERP-системах, призначена (в комплексі з іншими заходами інформаційної безпеки підприємства) для протидії як зовнішнім загрозам (наприклад, промислового шпигунству), так і внутрішнім (наприклад, розкраданням). Впроваджені в зв'язі з CRM-системою і системою контролю якості, ERP-системи націлені на максимальне задоволення потреб компаній в засобах управління бізнесом. Фактично ERP лежить в основі організаційної стратегії інтеграції виробництва та операцій, управління трудовими ресурсами, фінансового менеджменту та управління активами, вона орієнтована на безперервне балансування та оптимізацію ресурсів підприємства за допомогою спеціалізованого інтегрованого пакета прикладного програмного забезпечення, що забезпечує загальну модель даних і процесів всіх сфер діяльності підприємства. ERP-система – конкретний програмний пакет, що реалізує стратегію ERP.

Як характеристична особливість ERP-стратегії відзначається принциповий підхід до використання єдиної транзакційної системи для переважної більшості операцій та бізнес-процесів організації, незалежно від функціональної та територіальної роз'єднаності місць їх виникнення та проходження, обов'язковість зведення всіх операцій до єдиної бази для подальшої обробки та отримання у час збалансованих планів. Концепція системи ERP/CRM досить давно вже є одним з провідних напрямків розвитку підприємств та інформаційних технологій. Велика кількість компаній, що пропонують світовому ринку свої рішення ERP/CRM систем продовжують наукові та практичні дослідження в даному напрямку, виділяючи великі кошти на це. Від грошових об'ємів даних вкладень залежать і цінова політика, яку компанії ведуть у напрямку своїх клієнтів та партнерів. Тому, як правило, дані рішення не є безкоштовними, а навіть потребують досить великих коштів для впровадження і користування [11].

Через такі витрати багато компаній в країнах, економіки яких розвиваються, до числа яких відноситься і Україна, не можуть дозволити собі впровадити такі рішення ERP/CRM систем на перших порах свого існування. Це призводить до затримки розвитку компанії, в деяких випадках до стагнації навіть. Компанії не можуть продуктивно працювати, вести облік товарів, послуг, документувати та автоматизувати укладання угод та договорів.

Іншою проблемою таких комплексних рішень ERP/CRM є складність користування системами. Складний інтерфейс комплексних рішень не дозволяє користувачам швидко почати практичне застосування програм на підприємствах. Компанія може витратити багато часу, а як наслідок і грошей, на навчання співробітників, налаштування зручного вигляду програми та введення її в експлуатацію. Створення підсистеми CRM що буде використовуватись малими та середніми підприємствами потрібно спроектувати функціональну структуру даного веб-додатку. Це рішення дозволить в подальшому використовувати дану структуру для безпосереднього програмного розроблення CRM підсистеми.

Нове рішення повинне мати якісь технічні інновації та новинки, що зможе вивести його у тренди серед конкурентів. Зручний та інноваційний інтерфейс буде однією з таких інновацій. Також, при розробці бази даних потрібно додати новий зручний інтерфейс для її адміністрування [12].

Основним завданням, що виконується при проектуванні функціональної структури даної системи є розуміння, які б функції, згідно з думкою користувачів, мала б виконувати інформаційна підсистема CRM. Для цього потрібно врахувати побажання майбутніх користувачів, тобто менеджерів компанії, що будуть займатись співпрацею та укладання договорів з партнерами і клієнтами, а також певні стандартні вимоги користувачів клієнтів.

Згідно з побажаннями менеджерів, що співпрацюють з замовниками, CRM-підсистема повинна мати такі функції:

- можливість окремої ініціалізація для клієнтів і для адміністраторів;
- приємний та багатфункціональний інтерфейс;
- можливість бачити та редагувати всіх клієнтів;
- функція розділення замовлень клієнтів по статусу виконання;
- можливість бачити та редагувати зроблені замовлення;
- можливість додавати та редагувати пропоновану продукцію.

Також потрібно розробити чітку ієрархію доступів до системи за принципом необхідних доступів для певного рівня користувачів. Наприклад, адміністратори повинні мати найбільше від усіх користу-

вачів прав для створення та редагування замовлень і даних клієнта. Адміністратор повинен мати багатофункціональну систему пошуку необхідного товару чи замовлення, якщо нові замовлення будуть швидко реєструвати а запам'ятати їх не буде фізичної змоги. Клієнти у свою чергу, повинні мати особистий кабінет, де вони зможуть побачити свої замовлення і повну інформацію до них, а саме : статус, дата реєстрації, адресу доставки, спосіб оплати тощо.

Потрібно розробити функцію самостійної реєстрації клієнтів в інформаційній підсистемі CRM. Для цього на сторінці авторизації повинне бути посилання на іншу сторінку реєстрації, де клієнт може ввести свої дані, зареєструвати і перейти назад на сторінку авторизації. І вже там як новий клієнт-користувач мати змогу авторизації і перегляду своїх замовлень [13].

Також потрібно впровадити нескладне користування базою даних для адміністраторів. В даному рішенні адміністратори повинні мати змогу користуватись базою даних, додавати чи редагувати замовлення, товари, дані користувачів та клієнтів напряму в базі даних у випадку якихось збоїв інтерфейсу, падіння фронтенд серверу тощо. Це досить інноваційне введення дозволить не відкладати роботу при таких збоях і далі вести облік товарів, послуг і клієнтів. Для цього потрібно вибрати надійну та легку у користуванні базу даних, у імплементації якої буде зручний та безпечний інтерфейс вводу-виводу даних. Необхідність всеосяжного застосування ERP-системи в територіально-розподілених організаціях потребує підтримки в єдиній системі множини валют та мов. Крім того, необхідність підтримувати кілька організаційних одиниць (кілька юридичних, кілька підприємств), кілька різних планів рахунків, облікових політик, різних схем оподаткування у єдиному екземплярі системи виявляється необхідною умовою застосування у холдингах, транснаціональних корпораціях.

Застосування у різних галузях накладає на ERP-системи, з одного боку, вимоги до універсальності, з іншого боку – підтримку розширюваності галузевою специфікою. Основні великі системи включають готові спеціалізовані модулі та розширення для різних галузей (відомі спеціалізовані рішення в рамках ERP-систем для машинобудівних та обробних виробництв, підприємств добувної промисловості, роздрібною торгівлі, дистрибуції, банків, фінансових організацій та страхових компаній, підприємств електрозв'язку, енергетики, організацій сектори державного управління, сфери освіти, медицини та інших галузей) [14].

Модульний принцип організації ERP систем дозволяє впроваджувати дані системи поетапно, послідовно переводячи в експлуатацію один або кілька функціональних модулів, а також вибирати ті, які актуальні для організації. Крім того, модульність ERP-систем дозволяє будувати рішення на основі декількох ERP-систем, вибираючи з кожної найкращі у своєму класі модулі (best-of-breed). Розбивка за модулями та його угруповання різна, але в більшості основних постачальників виділяються групи модулів: фінанси, персонал, операції.

Фінансові модулі, насамперед, головна книга, багатьма практиками вважаються центральними компонентами ERP-системи, а формування фінансової звітності засобами ERP-системи вважається однією з фактично обов'язкових умов позитивних результатів процедури due diligence [15].

Серед фінансових модулів ERP фігурує безліч різних функціональних блоків, у різних системах і різних версіях виділяються різні їх компоновки, серед найбільш часто зустрічаються (за організаційними підрозділами):

- бухгалтерські: головна книга, рахунки для отримання (дебітори), рахунки для оплати (кредитори), консолідація;
- обліково-управлінські, контролінгові: облік витрат і доходів за місцями виникнення, за продуктами, проектами, калькуляція собівартості;
- казначейські: управління ліквідністю, управління рухом коштів (включаючи банківські рахунки та касу), взаємодія з банками, управління боргом та запозиченнями;
- фінансово-управлінські: управління основними коштами, інвестиційний менеджмент, фінансовий контроль та управління ризиками.

Також іноді до складу фінансових модулів ERP-систем включено фінансове планування та управління ключовими показниками ефективності, але основні розробники поставляють для цих функцій окремі спеціалізовані програмні продукти.

У 1990-і роки як модулі великих ERP-систем поставлялися рішення для клієнтського обслуговування, управління проектами та управління життєвим циклом продукції, але з бурхливим розвитком самостійних рішень класів CRM, PPM (Project Portfolio Management) та PLM (Product Lifecycle Management) відповідно, ці модулі були або перепроєктовані як продукти, що окремо поставляються, і, фактично, зберігаючи наступність у рамках пакетів бізнес-додатків, просто перестали позиціонуватися як частина ERP-продукту, або були замінені в продуктових лінійках на окремі, спеціалізовано розроблені рішення [16].

Однією з важливих відмінностей ERP як стратегії від використання окремих додатків для MRP II та автоматизації розрахунку зарплати було уявлення про тісну інтеграцію інформації про трудові ресурси для можливості оперативного планування та управління операціями з урахуванням інформації про доступність персоналу, можливості точно розраховувати витрати за місцями виникнення та продуктами відповідно до інформації про компенсацію задіяного персоналу. Примітно, що один із провідних постачальників ERP кінця 1990-х – початку 2000-х років – Peoplesoft – розпочинав свою діяльність саме як розробник пакетів для кадрового обліку та розрахунку зарплати [17].

На початку 2000-х років провідні постачальники просували уявлення про необхідність управління персоналом як людським капіталом організації (відповідно, ввівши у вжиток абревіатуру HCM – англ. (human capital management) [18], [19], і в рамках реалізації цієї концепції наростили функціональні можливості модулів управління персоналом щодо можливості ведення інформації про професійні навички, планування навчання, кар'єри співробітників та забезпечивши застосування інформації, що обробляється в цих модулях, для цілей стратегічного управління організацією, розрахунку ключових показників ефективності, фінансового менеджменту [20].

Висновки та перспективи подальших досліджень. Подальший розвиток CRM технологій та інших систем керування та адміністрування взаємовідносин між виробниками та споживачів є запорукою активного розвитку бізнесу будь якого масштабу. Від малого та середнього до великого та розвинутого підприємства, фірми, агрохолдингу тощо. На наш погляд, для спільної ефективної взаємодії та управління маркетингом та продажами, потрібно забезпечити ефективний єдиний інформаційний простір, дружній до користувачів, що і забезпечує саме CRM, CRM-системи та інші, схожі за функціоналом та змістом системи. Подальші дослідження та удосконалення таких систем, мають відбуватися в напрямку охоплення усіх ланок виробництва та реалізації, удосконалення вже існуючих та розробки нових корисних застосунків.

Список використаних джерел:

1. Greenberg Paul: CRM at the Speed of Light, Fourth Edition: Social Crm 2.0 Strategies, Tools, and Techniques for Engaging Your: https://www.academia.edu/32001936/CRM_at_the_Speed_of_Light
2. Frederick Newell; Why CRM Doesn't Work How to Win by Letting Customers Manage the Relationship Publisher: Bloomberg Press; 1st edition (April 1, 2003). 256 P.
3. Шарапа О. М. Управління відносинами з клієнтами через впровадження CRM-систем як складова ефективного ведення бізнесу. *Актуальні проблеми економіки*. 2009. № 7 (97). С. 175–183.
4. Gartner Says Customer Relationship Management Software Market Grew 12.5 Per Cent in 2012. URL: <http://apitu.wordpress.com/2013/04/29/світовий-ринок-crm-виріс-у-2012-на-12-5/>
5. Отечественный рынок CRM-систем: Украина – не Америка. URL: http://itc.ua/articles/otechestvennyj_rynok_crm-sistem_ukraina_ne_amerika_22234/
6. Пепперс Д. Управление отношениями с клиентами. Как превратить базу ваших клиентов в деньги : навч. посіб. Київ, 2006. 336 с.
7. Kumar V. The Future of CRM, in Statistical Methods in Customer Relationship Management : навч. посіб. Лондон, 2012. 142 с.
8. Антоненко В. М., Мамченко С. Д., Рогушина Ю. В. Сучасні інформаційні системи і технології: управління знаннями : навч. посібник. Ірпінь : Нац. університет ДПС України, 2016. 212 с.
9. Воронін А. М., Зіатдінов Ю. К., Климова А. С. Інформаційні системи прийняття рішень : навчальний посібник. Київ : НАУ-друк, 2009. 136 с.
10. Морзе Н. В. Інформаційні системи. Навч. посібн. / за наук. ред. Н. В. Морзе; Морзе Н. В., Піх О. З. Івано-Франківськ, «ЛілеяНВ», 2015. 384 с.
11. Павлиш В. А., Гліненко Л. К. Основи інформаційних технологій і систем : навчальний посібник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2013. 500 с.
12. Мірошникова Є. Д., Птащенко О. В. Побудова CRM-системи як основи формування комунікаційної політики між організацією та кінцевим споживачем. *Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля : наук. журнал*. Вип. 6 (230). Сєвєродоноцьк : СУНУ, 2016. С. 108–116.
13. Антошук С., Фомін О. Модель маркетингу, яка керується даними. *Маркетинг і цифрові технології*, Том 1, вип. 2. Одеса, 2017. С. 92–102.
14. Оксандр М. А. Сутність та фактори впливу на рекламну стратегію. *Бізнес Інформ*. 2017. № 1. С. 342–346.
15. Легкий О. А., Сохаська О. М. Ефективність цифрових маркетингових комунікацій: від постановки мети до оцінювання результату. *Маркетинг і цифрові технології*. Том 1, вип. 2. Одеса, 2017. С. 4–31.
16. Penn C. The Evolution of the Data-Driven Company. C. Penn marketing blog. 2016. URL: <https://www.christopherspenn.com/2016/11/the-evolution-of-the-data-driven-company/> (Last accessed 7.12.2018).
17. Марцінковська О. Б. Сучасні підходи до управління командами в контексті реалізації проекту. *Регіональні аспекти розвитку продуктивних сил*. 2016. № 21. С. 102–108.
18. Parekh L. How CRM can help HR to improve Employee Experience. Sugar CRM Blog. 2017. URL: <https://community.sugarcrm.com/community/partner-corner/blog/2017/10/26/how-crm-can-help-hr-to-improve-employee-experience> (Last accessed 7.12.2018).

19. Поморцева О. Є. Лабораторний практикум з навчальної дисципліни «Комп'ютерні засоби в економіці та підприємстві»: навчально-практичний посібник. Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2013. 127 с.

20. Сендзюк М. А. Інформаційні системи і технології в економіці : навч.-метод. посіб. для самост. вивч. дисципліну; М-во освіти і науки України, ДВНЗ «Київ. нац. екон. ун-т ім. В. Гетьмана». К. : КНЕУ, 2010. 68 с.

References:

- Greenberg, P. (2013). CRM at the Speed of Light. Attracting and retaining customers in real time over the Internet / Greenberg Paul; transl. from English by V. Agapov. – Saint-Petersburg : Symbol plus, 526. [in English]
- Newell, P. (2004). Why the systems of customer relationship management (CRM) doesn't work? / P. Newell; transl. from English by A. Stativky. – M. : Dobraya kniga, 2004, 368. [in English]
- Molino Patrick. (2004). Upravlinnia vidnosynamy z klientamy cherez vprovadzhennia CRM-system yak skladova efektyvnoho vedennia biznesu [CRM technologies. Eksperes-Course / Patrick Molino; transl. from English by T. Novicova. – M. : Fiar-Press. 272. [in Ukrainian]
- Payne Adrian (2007). Handbook of CRM: Achieving Excellence in Customer Management / Adrian Payne; transl. from English by S. Krivosheina. – Minsk : Grevcov Publisher, 384. [in English]
- Kudinov, A. (2008). CRM: Russian practice of efficient business / A. Kudinov, M. Sorokin, E. Golusheva. – IS-Publishing, 374. [in Russian]
- Kudinov, A. (2012). CRM. The practice of efficient business / A. Kudinov, M. Sorokin, E. Golusheva. – IS-Publishing, 464. [in Russian]
- Sharapa, O. (2009). Customer relationship management for making business through using CRM-system / O. Sharapa // *Actual problems of economy*. № 7 (97). – Pp. 175–183.
- Antonenko, V. M. (2016). Suchasni informatsiini systemy i tekhnolohii: upravlinnia znanniamy : navch. posibnyk [Modern information systems and technologies: knowledge management : navch. posibnyk] / V. M. Antonenko, S. D. Mamchenko, Yu. V. Rogushina. – Irpin : Nat. University of DPS of Ukraine, 212. [in Ukrainian]
- Voronin, A. M. (2009). Informatsiini systemy pryiniattia rishen : navchalnyi posibnyk [Information systems for the adoption of a solution : a guide book] / Voronin A. M., Ziatdinov Yu. K., Klimova A. S. – K. : NAU-druk, 136. [in Ukrainian]
- Morse, N. V. (2015). Informatsiini systemy. Navch. posibn. [Information systems. Navch. posibn.] / for sciences. ed. N. V. Morse; Morse N. V., Pikh O. Z. – Ivano-Frankivsk, "LileyaNV", 384. [in Ukrainian]
- Pavlish, V. A., Glinenko, L. K. (2013). Osnovy informatsiinykh tekhnolohii i system : navchalnyi posibnyk [Fundamentals of information technologies and systems : Manual] Pavlish V. A., Glinenko L. K. – Lviv : Publishing House of the Lviv Polytechnic, 500. [in Ukrainian]
- Miroshnikova, E. D., Ptashchenko, O. V. Pobudova (2016). Pobudova CRM-systemy yak osnovy formuvannia komunikatsiinoi polityky mizh orhanizatsiieiu ta kintsevym spozhyvachem [CRM-systems as the basis for shaping the communication policy between the organization and the endocrinologist] *Visnyk Skhidnoukrainskoho natsionalnoho universytetu im. V. Dalia : nauk. zhurnal – Bulletin of the Khidnoukrainian National University named after. V. Dahl: Sciences. Magazine*. Vip. 6 (230). – Severodonetsk : SUNU, 108–116. [in Ukrainian]
- Antoshchuk, S., Fomin, O. (2017). Model marketynhu, yaka keruietsia danymy [Model of marketing, how to look for danimi] *Marketynh i tsyfrovi tekhnolohii – Marketing and digital technologies*, Volume 1, vol. 2. – Odessa, 92–102. [in Ukrainian]
- Oklander, M. A. (2017). Sutnist ta faktory vplyvu na reklamnu stratehiu [Importance and influence on advertising strategy] *Biznes Inform – Business Inform*. No. 1, 342–346. [in Ukrainian]
- Legky, O. A., Sokhatska, O. M. (2017). Efektyvnist tsyfrovyykh marketynhovykh komunikatsii: vid postanovky mety do otsiniuvannia rezultatu [Efficiency of digital marketing communications: in setting the mark before evaluating the result] *Marketynh i tsyfrovi tekhnolohii – Marketing and digital technologies*. Volume 1, VIP. 2. Odessa, 4–31. [in Ukrainian]
- Penn, C. (2016). The Evolution of the Data-Driven Company. C. Penn marketing blog. Retrieved from: <https://www.christopherspenn.com/2016/11/the-evolution-of-the-data-driven-company/> (Last accessed: 7.12.2018). [in English]
- Martsinkovska, O. B. (2016). Suchasni pidkhody do upravlinnia komandamy v konteksti realizatsii proektu [Modern approaches to managing teams in the context of project implementation] *Rehionalni aspekty rozvytku produktyvnykh syl – Regional aspects of the development of productive forces*. No. 21, 102–108. [in Ukrainian]
- Parekh, L. (2017). How CRM can help HR to improve Employee Experience. Sugar CRM Blog. Retrieved from: <https://community.sugarcrm.com/community/partner-corner/blog/2017/10/26/how-crm-can-help-hr-to-improve-employee-experience> (Last accessed: 7.12.2018). [in English]
- Pomortseva, O. E. (2013). Laboratornyi praktykum z navchalnoi dystsypliny "Kompiuterni zasoby v ekonomitsi ta pidpriemnytstvi" : navchalno-praktychnyi posibnyk [Laboratory workshop on the basic discipline "Computers help in economy and production" : basic and practical help] / O. E. Pomortseva; Hark. nat. un-t misk. Mrs. im. O. M. Beketova. – H. : KhNUMG im. O. M. Beketova, 127. [in Ukrainian]
- Sendzyuk, M. A. (2010). Informatsiini systemy i tekhnolohii v ekonomitsi : navch.-metod. posib. dlia samost. vyvch. dystsypliny [Information systems and technologies in economics : navch.-method. posib. for selfvivch. disciplines] / M. A. Senzyuk; Ministry of Education and Science of Ukraine, DVNZ "Kyiv. nat. economy un-t im. V. Hetman". – K. : KNEU, 68. [in Ukrainian]

УДК 004.942

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.5>

Юлія КАЗИМИРЕНКО

доктор технічних наук, доцент, професор кафедри інформаційних управляючих систем і технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, просп. Героїв України, 9, Миколаїв, Україна, індекс 54025 (u.a.kazimirenko@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-7120-8226

Ігор МІХЕЛЄВ

кандидат технічних наук, доцент, завідувач кафедри інформаційних управляючих систем і технологій, Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова, просп. Героїв України, 9, Миколаїв, Україна, індекс 54025 (mihelevigor@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-9579-6547

Микола МАТВЄЄВ

провідний інженер-конструктор, ДПНВКГ «Зоря»-«Машпроект», м. Миколаїв, Україна, індекс 54018 (mnasoft@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-8221-1693

Yuliia KAZYMYRENKO

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Professor at Department of Information Control Systems and Technologies, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, 9 Heroes of Ukraine Avenue, Mykolaiv, Ukraine, postal code 54025 (u.a.kazimirenko@gmail.com)

Igor MYKHELIEV

Ph.D., Head of Department of Information Management Systems and Technologies, Admiral Makarov National University of Shipbuilding, 9 Heroes of Ukraine Avenue, Mykolaiv, Ukraine, postal code 54025 (mihelevigor@gmail.com)

Mykola MATVYHEYEV

Lead of Team Engineer of GTR&DC "Zorya"- "Mashproekt", Mykolaiv, Ukraine, postal code 54018 (mnasoft@gmail.com)

Бібліографічний опис статті: Казимиренко, Ю., Міхелєв, І., Матвєєв, М. (2022). Методи і моделі візуалізації розподілу температурних полів газотурбінних камер згоряння з використанням середовища Common Lisp. *Інформаційні технології та суспільство*, 2 (4), 36–41. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.5>

Bibliographic description of the article: Kazymyrenko, Yu., Mikheliev, I., Matvyeyev, M. (2022). Metody i modeli vizualizatsii rozpodilu temperaturnykh poliv hazoturbinykh kamer zghoriannya z vykorystanniam seredovyshcha Common Lisp [Methods and models for visualization of temperature field distribution of gas turbine combustion chambers using Common Lisp]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information technology and society*, 2 (4), 36–41. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.5>

**МЕТОДИ І МОДЕЛІ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОЛІВ
ГАЗОТУРБІННИХ КАМЕР ЗГОРЯННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ СЕРЕДОВИЩА COMMON LISP**

Стаття присвячена вирішенню важливої науково-практичної **проблеми** розвитку методологічного підґрунтя для роботи з багатовимірними даними експериментальних даних на машинобудівному підприємстві. **Мета роботи** – моделювання процесу з вибором інструментарію для візуалізації зображень розподілу температурних полів при стендових випробуваннях газотурбінних камер згоряння з побудовою графічних моделей за допомогою нового спеціалізованого програмного забезпечення. **Методи дослідження.** Дослідження виконано з використанням сучасних напрацювань в області комп'ютерної алгебри, теоретично-методичні засади геометричного моделювання числових рядів та власні напрацювання авторів статті. **Наукова новизна.** Для обробки результатів стендових випробувань газотурбінних камер згоряння вперше розроблено метод візуалізації зображень, який на відміну від існуючих ґрунтується на принципах алгоритмічної автоматизації побудови плоских ізотерм з вибором найкра-

щого варіанту конструктивно-компонувального рішення. **Висновки.** Проаналізовано умови проведення стендових випробувань газотурбінних камер згоряння, на підставі чого складено алгоритм обробки результатів експериментальних досліджень, який покладено в основу розробки програмного забезпечення. Розроблено геометричну інтерпретацію математичної моделі розподілу температурних полів, для чого з масиву даних виділено елементарну комірку. Фізичний зміст моделі полягатиме у тому, що з метою виключення з системи управління випадкових величин здійснюється опосередкування температур за певний інтервал часу. Модель апробовано для візуалізації розподілу температурних полів на виході з жарових труб камер згоряння. Програмне забезпечення написано на мові Common Lisp, задля виводу результатів обчислювань застосовано графічну програму Gnuplot з керуванням з консолі; графічні результати мають вигляд плоских ізотерм. Перспективи подальших досліджень пов'язано з розробкою інтерфейсу програмного застосування автоматизованих систем. Одержані результати спрямовані на покращення наукового рівня інженерно-конструкторської діяльності на машинобудівному підприємстві.

Ключові слова: візуалізація зображень, багатовимірні масиви даних, програмне забезпечення, автоматизація, плоскі ізотерми.

METHODS AND MODELS FOR VISUALIZATION OF TEMPERATURE FIELD DISTRIBUTION OF GAS TURBINE COMBUSTION CHAMBERS USING COMMON LISP

The article is devoted to the solution of an important scientific and practical problem of development of the methodological basis for work with multidimensional data of experimental data at the machine – building enterprise. **The purpose of the work** – modeling the process with the choice of tools for visualization of images of the distribution of temperature fields in bench tests of gas turbine combustion chambers with the construction of graphical models using new specialized software. **Research methods.** The research is performed using modern developments in the field of computer algebra, theoretical and methodological principles of geometric modeling of numerical series and the authors' own work. **Scientific novelty.** To process the results of bench tests of gas turbine combustion chambers for the first time has been developed a method of image visualization, which in contrast to the existing methods is based on the principles of algorithmic automation of flat isotherms with the choice of the best design solution. **Conclusions.** The conditions of bench tests of gas turbine combustion chambers have been analyzed, on the basis of which the algorithm of processing the results of experimental researches has been made, and it laid the foundation for the software development. The geometrical interpretation of the mathematical model of the distribution of temperature fields has been developed; for that purpose an elementary commensure has been selected from an array of data. The physical meaning of the model is that in order to exclude random variables from the control system, temperatures are mediated over a certain time interval. The model was tested to visualize the distribution of temperature fields at the outlet of the combustion chamber fire tubes. The software is written in the Common Lisp, to display the results of calculations a graphical program Gnuplot with console control has been used; graphical results have the form of flat isotherms. Prospects for further research are related to the development of a software application interface for automated systems. The obtained results are aimed at improving the scientific level of engineering and design activities at the machine-building enterprise.

Key words: image visualization, multidimensional data arrays, software, automation, flat isotherms.

Постановка проблеми та її зв'язок з важливими науково-практичними завданнями. Підвищення конструкторського рівня сучасних машинобудівних підприємств безпосередньо пов'язано з впровадженням нових методів роботи з багатовимірними даними, що неможливо реалізувати без відповідної інформаційної підтримки. Стендові випробування газотурбінних камер згоряння (ГКЗ) є важливим етапом дослідно-дослідницьких робіт, після якого приймаються остаточні конструктивно-компонувальні рішення. Узагальнення одержаних результатів являє собою складну інженерно-дослідницьку задачу, де крім документування та статистичної обробки даних необхідно обрати найкращий серед альтернативних варіантів. Тому розвиток науково-практичних передумов для роботи з багатовимірними масивами даних є актуальним та вимагатиме створення нових методологічних основ відбору та обробки експериментальних результатів з використанням спеціалізованого програмного забезпечення.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Загальна методологія інформаційної підтримки стендових випробувань силових установок транспортних засобів, зокрема газотурбінних агрегатів, розглянута в роботі [1, с. 26–29], де особлива увага надається створенню стендів, обладнаних системами автоматизації зображень. Це натурно-випробувальні, комп'ютерно-моделюючі, натурно-комп'ютерні випробувальні стенди, для яких авторами статті розроблено програмний комплекс модельної підтримки з відповідними розрахунками у інтерактивній системі Matlab [2, с. 75–82]. Проте, не зважаючи на широкі можливості для розв'язання дослідницьких та інженерних задач високого рівня складності, має відповідні недоліки для систематизації і обробки результатів у режимі реального часу. Перед усім це пов'язано з багаторазовим повторенням обчислювальних процедур, зіставленням вхідних і вихідних даних та можливостями аналізу фізичних процесів у динаміці.

Процес проектування ГКЗ можна розглядати як задачу синтезу складної технічної системи [3, с. 180–184], розв'язання якої значно ускладнюється через нерівномірний розподіл температурних полів, чому присвячено роботи [4, с. 181–203; 5, с. 27–33]. В цих роботах для досліджень застосовуються методи математичного моделювання та числового експерименту з використанням CFD-пакетів. Одержані результати будуються за принципом «теплових карт», візуалізація надаєть-

ся у різнокольоровому вигляді, який добре сприймається фахівцями. Проте на відміну від натурних експериментів, в умовах стендових випробувань результати числового експерименту носять частковий характер та їх можна застосовувати виключно на перших етапах проєктування ГКЗ. На підставі вищевикладеного слід виділити наступні проблемні питання, які вимагають вирішення задля підвищення якості конструкторських та дослідницько-довершувальних робіт на машинобудівному підприємстві, це: вибірковість та можливість корегування даних; відсів недійсних значень у відокремлених точках та осереднення одержаних експериментальних результатів; вибір графічного редактору та узагальнення зібраної інформації у вигляді, сприятливому для конструкторів. Вирішення поставленої проблематики дослідження ґрунтується на принципах наочності і побудові динамічних моделей, де результатом роботи є множина зображень [6, с. 18–33]. Математичне забезпечення процесу візуалізації даних реалізується у вигляді графів, для побудови яких, як правило, проводиться велика кількість досліджень, на підставі чого визначаються певні мітки, як це показано в роботі [7, с. 50–56]. Застосування методів комп'ютерної алгебри для розробки програмного забезпечення для візуалізації результатів розв'язання задач математичної фізики і теплофізики розглянуто авторами роботи [8, с. 165–191]. Таким чином, підвищення науково-технічного рівня проєктування ГКЗ згоряння є можливим в результаті розвитку методологічного підґрунтя для роботи з багатовимірними даними стендових випробувань з подальшою візуалізацією одержаних результатів у графічному вигляді.

Мета роботи – моделювання процесу з вибором інструментарію для візуалізації зображень розподілу температурних полів при стендових випробуваннях газотурбінних камер згоряння з побудовою графічних моделей за допомогою нового спеціалізованого програмного забезпечення.

Виклад основного матеріалу. Досліджено виконано з використанням сучасних напрацювань в області комп'ютерної алгебри [9, с. 320–326], теоретично-методичних засад геометричного моделювання числових рядів з виділенням елементарної комірки [10, с. 81–89] та власні напрацювання авторів [11, с. 136–142]. Головне завдання стендових випробувань ГКЗ полягатиме у відтворенні натурних режимів складових частин з метою встановлення їх відповідності технічним вимогам. Для цього здійснюється вимірювання параметрів (палива, продуктів згоряння, потоків повітря) у контрольних точках. Отримана інформація подається у конструкторській відділ у вигляді серії графіків, таблиць, контурних діаграм температурних полів. Сформований алгоритм обробки результатів експериментальних досліджень, який далі покладено в основу створення моделі та розробки програмного забезпечення наведено на рис. 1.

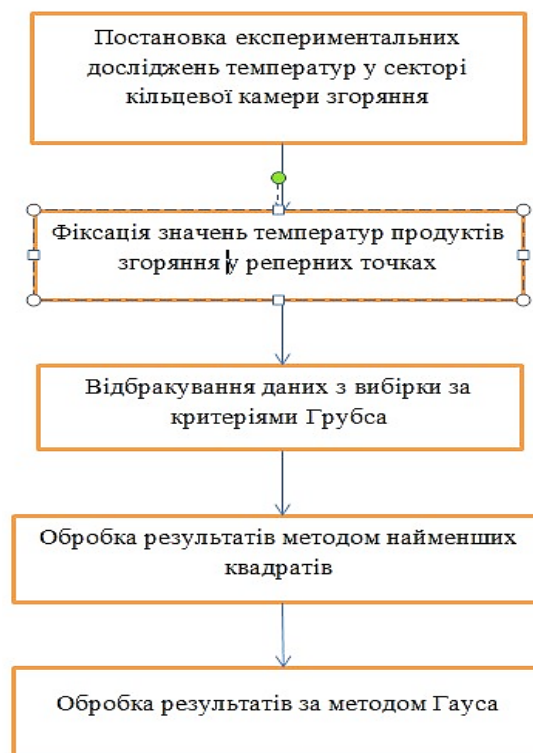


Рис. 1. Алгоритм обробки результатів експериментальних досліджень

Масив даних складається з вимічених значень температур. З метою виключення з системи управління випадкових величин здійснюється опосереднення температур за певний інтервал часу. В основу принципів відбракування точок покладено граничні умови: $t > t_{02}$, але t не повинні перевищувати очікувані значення, середньоквадратичне відхилення у кожній точці елементарної комірки (рис. 2) S не повинно перевищувати 50 °C. Під час моделювання введено припущення, що у комірки після відбракування точок методом найменших квадратів залишається менш ніж 9 опорних точок.

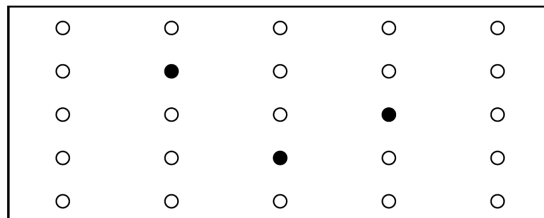


Рис. 2. Геометрична модель «виключених» точок
(чорним кольором позначено виключені точки)

Наступним етапом моделювання є побудова двовимірної поверхні розподілу температурних полів з ефектом згладжування за методом Гауса. Для розробки програмного забезпечення застосовано сучасну мову програмування Common Lisp, яка підтримує процедурну і функціональну парадигми, з можливістю поєднувати різні стилі і підходи, наприклад, об'єктно-орієнтований і функціональний [12, с. 47–51].

Для виводу результатів обчислювань застосовано вільне програмне середовище для створення дво- або тривимірних графіків – Gnuplot з керуванням консолей [10, с. 81–89]. До електронного журналу заносяться час вимірювання, температура та об'ємна витрата повітря на вході в камеру згоряння, температура та витрати палива, температура повітря на виході з жарових труб. Результати представляються у вигляді контурних діаграм температурних полів – плоских ізотерм (рис. 3), за якими визначається відповідність температурних полів технічним вимогам. Побудова діаграм відбувається у вибіркового порядку, який встановлює експерт.

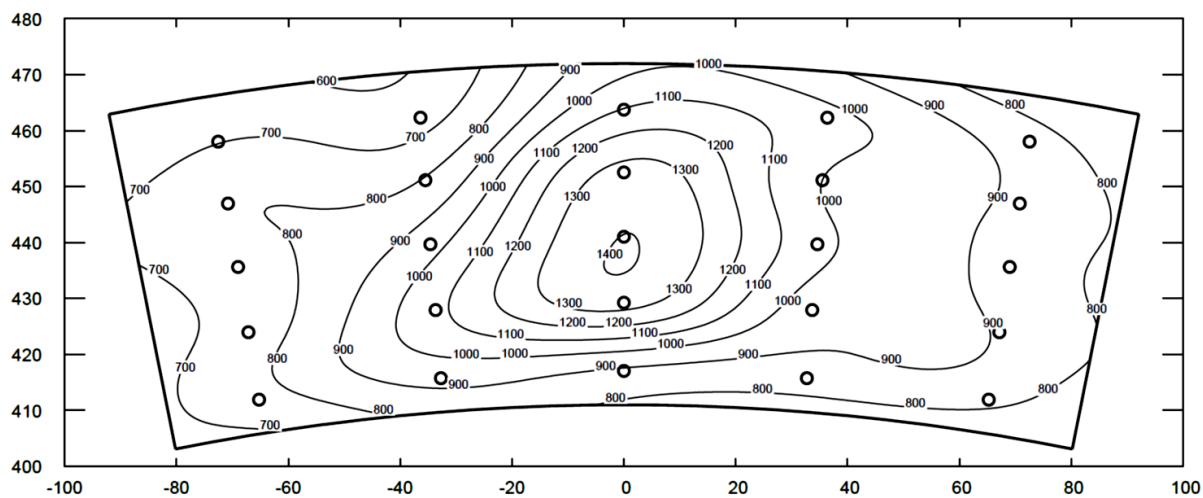


Рис. 3. Контурна діаграма температурних полів

Результати роботи спрямовані на вирішення важливої науково-практичної **проблеми** розвитку методологічного підґрунтя для роботи з багатовимірними даними експериментальних даних на машинобудівному підприємстві. **Наукова новизна** досліджень полягатиме у тому, що для обробки результатів стендових випробувань газотурбінних камер згоряння вперше розроблено метод візуалізації зображень, який на відміну від існуючих ґрунтується на принципах алгоритмічної автоматизації побудови плоских ізотерм з вибором найкращого варіанту конструктивно-компонувального рішення. **Практичне значення одержаних результатів:** одержані результати спрямовані на покращення наукового рівня інженерно-конструкторської діяльності.

Висновки. Проаналізовано умови проведення стендових випробувань газотурбінних камер згоряння, на підставі чого складено алгоритм обробки результатів експериментальних досліджень, який

покладено в основу розробки програмного забезпечення. Розроблено геометричну інтерпретацію математичної моделі розподілу температурних полів, для чого з масиву даних виділено елементарну комірку; фізичний зміст моделі полягатиме у тому, що з метою виключення з системи управління випадкових величин здійснюється опосередкування температур за певний інтервал часу. Програмне забезпечення написано на мові Common Lisp, задля виводу результатів обчислювань застосовано графічну програму Gnuplot з керуванням консолей.

Список використаних джерел:

1. Верлань А. Ф., Митько Л. О., Дячук О. А., Федорчук В. А. Методи та засоби модельної підтримки випробувальних стендів силових установок *Математичне та комп'ютерне моделювання. Сер.: Технічні науки*. 2012. Вип. 6. С. 26–29. URL: <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/47238>
2. Хоцькіна В. Б. Використання можливостей пакету Matlab для побудови імітаційних моделей. *Гірничий вісник*. 2014. Вип. 97. С. 75–82. URL: <http://ds.knu.edu.ua/jspui/handle/123456789/1145>
3. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О. Теорія технічних систем: навчальний посібник. К. : ЦП «КОМПРИНТ». 2017. 291 с. URL: <https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u132>
4. Кузьмін С. М., Грень В. М., Ляшенко В. О. Аналіз впливу конструктивних елементів основної камери згоряння авіаційного двигуна на температурне поле газів у її вихідному перерізі. *Зб. наук. праць Державного науково-дослідного інституту авіації*. 2013. Вип. 16. С. 180–184. URL: <http://www.irbis-nbuv.gov.ua>
5. Діасамідзе Б. Т., Вілкул С. В., Сербін С. І. Теоретичні дослідження двопаливної низькоемісійної камери згоряння газотурбінного двигуна. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Сер.: Енергетичні та тепло-технічні процеси й устаткування. 2019. 1. С. 27–33. URL: <http://repository.kpi.kharkov.ua/handle/KhPI-Press/44813>
6. Басюк Т. М. Забезпечення процесу візуалізації даних у середовищі відкритих систем. *Інформаційні системи та мережі*. 2015. Вип. 832. С. 18–33. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPICM_2015_832_5
7. Кушнеров О. С. Про деякі застосування теорії графів. *Фізико-математична освіта*. 2015. 1 (7). С. 50–56. URL: <https://repository.sspu.edu.ua/bitstream/123456789/409/3>
8. Береславський Д. В., Коритко Ю. М., Татарінова О. А. Проектування та розробка скінченно-елементного програмного забезпечення : монографія. Харків : Вид-во «Підручник НТУ «ХПІ». 2017. 232 с. URL: <http://library.kpi.kharkov.ua/ru/node/4352>
9. Мосіюк О. О. Огляд хмарних технологій систем комп'ютерної алгебри. *Актуальні питання сучасної інформатики*. 2018. С. 320–326. URL: <http://eprints.zu.edu.ua/id/eprint/28337>
10. Корольський В. В., Шокалюк С. В., Мельниченко Ю. А. Теоретично-методичні засади геометричного моделювання числових рядів. *Фізико-математична освіта*. 2018. Вип. 4 (18). С. 81–89. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/fmo_2018_4_15
11. Казимиренко Ю. А., Михелев И. Л., Матвеев Н. А. Информационная поддержка управления процессами обработки данных при стендовых испытаниях камер сгорания судовых газотурбинных двигателей. *Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy*. 2021. № 2. С. 136–142. URL: <http://eir.nuos.edu.ua/xmlui/handle/123456789/5352>
12. Марченко О. І., Хоптинєць В. А. Трансляція програм з процедурних мов програмування у функціональній мові з використанням графу залежності даних. *Комп'ютерно-інтегровані технології: освіта, наука, виробництво*, 2015. Вип. 20. С. 47–51. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Kitonv_2015_20_10

References:

1. Verlan, A. F., Mytko, L. O., Diachuk, O. A., Fedorchuk, V. A. (2012). Metody ta zasoby modelnoi pidtrymky vyprobuvalnykh stendiv sylovykh ustanovok [Methods and tools to support model test benches propulsion]. *Matematychnе ta kompiuterne modeliuvannia. Ser.: Tekhnichni nauky. – Mathematical and computer modelling Series: Technical sciences*, 6, 26–29. [in Ukrainian]
2. Khotyskina, V. B. (2014). Vykorystannia mozhlyvostei paketu Matlab dlia pobudovy imitatsiinykh modelei [Using the capabilities of the Matlab package to build simulation models]. *Hirnychiy visnyk. – Mining bulletin*, 97, 75–82. [in Ukrainian]
3. Loveikin, V. S., Romasevych, Yu. O. (2017). *Teoriia tekhnichnykh system: navchalnyi posibnyk [Theory of technical systems]*. K. : TsP "KOMPRINT". [in Ukrainian]
4. Kuzmin, S. M., Hren, V. M., Liashenko, V. O. (2013). Analiz vplyvu konstruktyvnykh elementiv osnovnoi kamery zghoriannia aviatsiinoho dvyhuna na temperaturne pole haziv u yii vykhidnomu pererizi [Analysis of the influence of structural elements of the main combustion chamber of an aircraft engine on the temperature field of gases in its initial cross section]. *Zb. nauk. prats Derzhavnoho naukovo-doslidnoho instytutu aviatsii. – Collection of scientific works State Research Institute of Aviation*, 16, 180–184. [in Ukrainian]
5. Diasamidze, B. T., Vilkul, S. V., Serbin, S. I. (2019). Teoretychni doslidzhennia dvopalyvnoi nyzkoemisiinoi kamery zghoriannia hazoturbinnoho dvyhuna [Theoretical investigations of a dual-fuel low-emission gas turbine combustor]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu "KhPI". Ser.: Enerhetychni ta teplotekhnichni protsesy u ustatkuvannia. – Bulletin of the National Technical University "KhPI". Ser.: Power and Heat Engineering Processes and Equipment* 1, 27–33. [in Ukrainian]
6. Basiuk, T. M. (2015) Zabezpechennia protsesu vizualizatsii danykh u seredovyshchi vidkrytykh system [Providing of process of visualization of data is in the environment of open system]. *Informatsiini systemy ta merezhi. – Information systems and networks*, 832, 18–33. [in Ukrainian]
7. Kushnerov, O. S. (2015). Pro deiaki zastosuvannia teorii hrafov [On some applications of graph theory]. *Fizyko-matematychna osvita. – Physical and mathematical education*, 1 (7), 50–56. [in Ukrainian]

8. Bereslavskyi, D. V., Korytko, Yu. M., Tatarinova, O. A. (2017). *Proektuvannia ta rozrobka skinchenno-elementnoho prohramnoho zabezpechennia [Design and development of finite element software]*. Kharkiv : Textbook of NTU "KhPI". [in Ukrainian]
9. Mosiiuk, O. O. (2018). Ohliad khmarnykh tekhnolohii system kompiuternoi alhebry [An overview of cloud technologies in computer algebra systems]. *Aktualni pytannia suchasnoi informatyky. – Current issues of modern computer science*, 320–326. [in Ukrainian]
10. Korolskyi, V. V., Shokaliuk, S. V., Melnychenko, Yu. A. (2018). Teoretychno-metodychni zasady heometrychnoho modeliuвання chyslovykh riadiv [Theoretical and methodological principles of geometric modeling of numerical series]. *Fyzyko-matematychna osvita. – Physical and mathematical education*, 4 (18), 81–89. [in Ukrainian]
11. Kazymyrenko, Yu. A., Mykhelev, Y. L., Matveev, N. A. (2021). Informacionnaya podderzhka upravleniya processami obrabotki dannykh pri stendovykh ispytaniyakh kamer sgoraniya sudovykh gazoturbinykh dvigatelej [Information support managing data processing during stand tests of combustion chambers of ship gas turbine engines] *Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy. – Proceedings of Azerbaijan State Marine Academy*. 2, 136–142. [in Azerbaijan]
12. Marchenko, O. I., Khoptynets, V. A. (2015). Transliatsiia prohram z protsedurnykh mov prohramuvannia u funktsionalnii movi z vykorystanniam hrafu zalezhnosti danykh [Translation of programs from procedural programming languages in a functional language using a graph of data dependence]. *Kompiuterno-intehrovani tekhnolohii: osvita, nauka, vyrobnytstvo. – Computer-integrated technologies: education, science, production*, 20, 47–51. [in Ukrainian]

УДК 004.8

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.6>

Богдана КАЛІНОВСЬКА

студент, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», проспект Перемоги, 37, Київ, Україна, індекс 03056 (bohdana_kalinovska@ukr.net)

ORCID: 0000-0002-9443-1762

Олена НОСОВЕЦЬ

кандидат технічних наук, доцент кафедри біомедичної кібернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», проспект Перемоги, 37, Київ, Україна, індекс 03056 (o.nosovets@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-1288-3528

Людмила ДОБРОВСЬКА

кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри біомедичної кібернетики, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», проспект Перемоги, 37, Київ, Україна, індекс 03056 (dobrovska.liudmyla@lil.kpi.ua)

ORCID: 0000-0002-4055-6834

Bohdana KALINOVSKA

Student, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, postal code 03056 (bohdana_kalinovska@ukr.net)

Olena NOSOVETS

Ph.D., Associate Professor at Biomedical Cybernetics Department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, postal code 03056 (o.nosovets@gmail.com)

Liudmyla DOBROVSKA

Ph.D., Associate Professor, Associate Professor at Biomedical Cybernetics Department, National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, postal code 03056 (dobrovska.liudmyla@lil.kpi.ua)

Бібліографічний опис статті: Каліновська, Б., Носовець, О., Добровська, Л. (2022). Програмний застосунок для оцінки кардіологічних патологій після оперативних втручань. *Інформаційні технології та суспільство*, 2 (4), 42–48. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.6>

Bibliographic description of the article: Kalinovska, B., Nosovets, O., Dobrovska, L. (2022). Prohramnyi zastosunok dlia otsinky kardiologichnykh patolohii pislia operatyvnykh vtruchan [Software application for the assessment of cardiac pathologies after surgery]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information technology and society*, 2 (4), 42–48. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.6>

**ПРОГРАМНИЙ ЗАСТОСУНОК ДЛЯ ОЦІНКИ КАРДІОЛОГІЧНИХ ПАТОЛОГІЙ
ПІСЛЯ ОПЕРАТИВНИХ ВТРУЧАНЬ**

Дана стаття присвячена питанню кардіологічних патологій, які щодня вбивають тисячі новонароджених дітей. Коарктація аорти та гіпоплазія дуги аорти є одними з найпоширеніших захворювань серцево-судинної системи та трапляються у кожного другого з шести на тисячу народжених, це становить 4–8 % від усіх серцево-судинних хвороб, і займає четверте місце за частотою, що є жакливим показником, адже рівень летальності даних захворювань сягає більше 90 %. На сьогоднішній день лікарі зводять намагаються зменшити ці страшні цифри за допомогою вибору ідеального методу для проведення операції, проте, на шляху виконання поставленої цілі, лікарям, безумовно, необхідний програмний застосунок, що допомагав би їм відслідковувати позитивну або негативну динаміку після хірургічного втручання за допомогою прогнозованих ультразвукових показників. **Метою статті** є створення програмного додатку з зручним інтерфейсом та багатим функціоналом для оцінки стану пацієнтів в динаміці, що стане зручним та корисним для лікарів. Реалізація поставленої мети передбачає використання **методології** методу групового урахування аргументів для побудови моделей за допомогою яких буде здійснюватись

прогнозування, та мови програмування R, а саме, фреймворку Shiny для реалізації програмного додатку та використання в ньому отриманих моделей. **Наукова новизна.** На даний момент часу немає існуючих аналогів даному програмному додатку з функцією прогнозування, та спостереження прогресу в динаміці. **Висновки.** За допомогою клінічних даних наданих в «Національному інституті серцево-судинної хірургії імені М. М. Амосова» було побудовано моделі для прогнозування ультразвукових показників та було реалізовано програмний додаток за допомогою якого лікар може спостерігати облік пацієнтів в зручній табличній формі, редагувати клінічні дані відправляти листи пацієнтові, та прогнозувати параметри у віддаленому періоді, що значно спрощує роботу з даними та покращує комунікацію між пацієнтом та лікарем.

Ключові слова: коарктація аорти, гіпоплазія дуги аорти, прогнозування, ехокардіографія, ультразвукове дослідження.

SOFTWARE APPLICATION FOR THE ASSESSMENT OF CARDIAC PATHOLOGIES AFTER SURGERY

This article is devoted to the issue of cardiac pathologies that kill thousands of newborns every day. Aortic coarctation and aortic arch hypoplasia are among the most common diseases of the cardiovascular system and occur in every second in six per thousand births, accounting for 4–8 % of all cardiovascular disease, and is the fourth most common, which is a terrible figure., because the mortality rate of these diseases reaches more than 90 %. Today, doctors everywhere are trying to reduce these scary numbers by choosing the ideal method for surgery, however, in order to achieve this goal, doctors certainly need software that will help them monitor the positive or negative dynamics after surgery with the help of predicted ultrasound indicators. **The aim** of the article is to create a software application with a user-friendly interface and rich functionality to assess the state of patients in the dynamics, which will be convenient and useful for doctors. The realization of this goal involves the use of the **methodology** of the method of group accounting arguments to build models that will be used to predict, and programming languages R, namely, the Shiny framework for implementing the software application and using the resulting models. **Scientific novelty.** At the moment there are no existing analogues of this software application with the function of forecasting and monitoring progress in dynamics. **Conclusions.** With the help of clinical data provided by the "Amosov National Institute of Cardiovascular Surgery" models for ultrasound prediction were built and a software application was implemented with which the doctor can monitor patient records in a convenient tabular form, edit clinical data, send letters to the patient, and predict parameters in the remote period, which greatly simplifies data handling and improves communication between the patient and the doctor.

Key words: aortic coarctation, aortic arch hypoplasia, prognosis, echocardiography, ultrasound.

Постановка проблеми. На сьогодні, кардіологічні паталогії є однією з головних причин смертності новонароджених дітей [1]. Чималий внесок в цю страшну статистику внесли коарктація аорти та гіпоплазія дуги аорти. Аналізуючи різні джерела, можна помітити, що у 45–85 % випадків коарктація аорти поєднується з гіпоплазією дуги аорти, а новонароджені з таким діагнозом потребують негайної хірургічної операції, адже рівень летальності становить більше 90 % впродовж першого місяця життя [2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Так, як дана проблема є дуже актуальною, вчені зі всього світу намагаються вирішити питання великої смертності дітей різними шляхами, наприклад шукаючи ідеальний метод хірургічного лікування даних паталогій. Так група вчених з Royal Children's Hospital, Melbourne своєму довгостроковому спостереженні виявили, що техніка «кінець у бік», виконана із серединного доступу, може бути запропонована більшості пацієнтів з гіпоплазією дуги аорти [3]. Показання до оперативного лікування в даний час певною мірою чітко визначені, однак питання вибору методу хірургічного втручання залишається відкритим [4].

Також наявність безлічі методик визначення гіпоплазії дуги аорти, зумовило необхідність оцінки прогностичної цінності загальноприйнятих правил. Більшість дотримується думки, що, для визначення ступеня гіпоплазії та постановки діагнозу «Гіпоплазія дуги аорти» оптимальним діагностичним критерієм можна вважати показник Z-score. Вчені вважають, що питання про «ідеальну» техніку хірургічного лікування у дітей гіпоплазії дуги аорти залишається відкритим [5], а необхідність додатка для оцінки таких пацієнтів в динаміці набуває більшої актуальності.

Метою дослідження є створення програмного додатку з зручним інтерфейсом та обширним функціоналом для оцінки стану пацієнтів в динаміці, який допоможе відслідковувати прогрес ультразвукових показників після хірургічного втручання.

Виклад основного матеріалу. Коарктація аорти (КоА) – це вроджене сегментарне звуження аорти, яке може локалізуватися на будь-якій ділянці в області дуги, перешийка, нижнього грудного або черевного відділів [6]. Сегментарне звуження аорти часто поєднується з гіпоплазією дистальної частини або всієї дуги аорти, з поширеністю у дітей до 70 % [7]. Частота коарктації аорти становить від 0,2 до 0,6 на 1000 живих новороджених, та складає від 5 % до 8 % від загального числа всіх вроджених пороків серця [8].

До основних факторів розвитку цих ускладнень багато авторів відносять порушення еластично-колагенового каркаса: патологію гладких міоцитів, велике вміст колагену і знижене кількість еластина [9]. Також доведений тератогенний вплив на плід алкоголю, вальпроевої кислоти, гідантоїну

з подальшим формуванням коарктація аорти. Найбільш інформативним методом виявлення КоА та гіпплазії дуги аорти є двовимірна ехокардіографія (ЕхоКГ). Метод є найбільш чутливим та специфічним для дітей з невеликою або помірною обструкцією перешийка аорти, підтверджуючи та характеризуючи паталогію, даючи її зображення та оцінку гемодинамічного градієнта за допомогою сигналів потоку Doppler. Чутливість методу становить 95 %, а специфічність сягає 99 % [10].

Аналіз клінічних даних. Клінічні дані на основі яких було здійснено моделювання складаються з 445 пацієнтів до 1 року життя. База даних формувалась в «Національному інституті серцево-судинної хірургії імені М. М. Амосова» з 2011 по 2019 роки. Дані формувалися на дітях, яким було здійснено хірургічне лікування гіпплазії дуги аорти. Статистичний аналіз даної бази даних говорить про те, що більшу частину пацієнтів складали новонароджені хлопчики, а саме 62,8 %. Невелика частина пацієнтів, а саме 11,10 % були народженими на 33–35 тижні життя, а отже є недоношеними. Під час обстеження було виявлено, що 14 % новонароджених мають затримку в розвитку. Медіана віку пацієнтів складає 0,7 місяців, медіана ваги – 3,7 кг, площі поверхні тіла – 0,23 м². Деякі пацієнти за результатами дослідження мали гіпплазію одночасно декількох сегментів дуги. До та після операції усім дітям було робили ЕхоКГ, зазначали показники кожного сегмента дуги аорти, z-score для кожного сегмента дуги аорти, градієнт систолічного тиску та фракцію викиду.

Математичне моделювання. В результаті моделювання за допомогою методу групового урахування аргументів було отримано 8 прогнозованих моделей для кожного показника ультразвукового дослідження. Під час моделювання використовувались такі параметри:

- 1) Gender – стать;
- 2) Age(month) – вік в місяцях;
- 3) Gradient – градієнт;
- 4) Duration – Тривалість операції;
- 5) Ventilation – ШВЛ (години) після операції;
- 6) Methods – Методика реконструкції;
- 7) FV – Фракція викиду;
- 8) segm (Asegm, Bsegm, Csegm) – сегменти (A, B, C – відповідно);
- 9) Z (Z-A, Z-B, Z-C) – Z-score для сегментів (A, B, C – відповідно);

Для прикладу можна розглянути моделі для прогнозування сегментів, а саме: $A_{\text{segm_after}}$, $B_{\text{segm_after}}$, $C_{\text{segm_after}}$.

$$\begin{aligned}
 A_{\text{segm_after}} = & 6.13394 + \text{Gender} * (-0.0304) + \text{Gender} * (Z - B_{\text{before}}) \\
 & * (-0.092) + \text{Duration} * (-0.0099) + \text{Duration} * \text{Ventilation} * 3.53e - 05 + \\
 & + \text{Duration} * \text{Methods} * (-0.0017) + \text{Duration}^2 * 2.06e - 05 + \text{Ventilation} * \\
 & * B_{\text{segm_before}} * (-0.0032) + \text{Gradient}_{\text{before}} * (Z - B_{\text{before}}) * 0.0085 + \\
 & + \text{Gradient}_{\text{before}} * FV_{\text{before}} * (-0.00022) + (A_{\text{segm_before}}) * 0.933046 + \\
 & + (A_{\text{segm_before}}) * (Z - B_{\text{before}}) * (-0.13902) + (Z - A_{\text{before}})^2 * 0.0179988 + \\
 & + B_{\text{segm_before}} * (Z - B_{\text{before}}) * (-0.13578) + (Z - C_{\text{before}}) * FV_{\text{before}} * \\
 & * (Z - B_{\text{before}}) * 0.00613 + (Z - C_{\text{before}})^2 * (-0.06013); \\
 B_{\text{segm_after}} = & 5.26926 + \text{Gender} * \text{Weight} * (-0.165755) + \text{Gender} * \\
 & * \text{Ventilation} * 0.00598 + \text{Gender} * B_{\text{segm_before}} * 0.0749 + \text{Gender} * \\
 & * BSA * 0.012754 + \text{Weight} * B_{\text{segm_before}} * 0.039 + \text{Ventilation} * \\
 & * BSA * 0.012754 + \text{Weight} * B_{\text{segm_before}} * 0.039 + \text{Ventilation} * \\
 & * (Z - C_{\text{before}}) * (-0.0024) + \text{Gradient}_{\text{before}} * (Z - A_{\text{before}}) * 0.00145 + \\
 & + B_{\text{segm_before}} * (Z - B_{\text{before}}) * (-0.291) + (Z - B_{\text{before}}) * 1.62 + \\
 & + (Z - B_{\text{before}})^2 * (-0.131538) + (Z - C_{\text{before}})^2 * 0.00353066; \\
 C_{\text{segm_after}} = & 5.59 + \text{Gender} * 2.45128 + \text{Gender} * FV_{\text{before}} * (-0.040) +
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
& + Weight * BSA * 0.016715 + Weight * Duration * (-0.00075) + Weight * \\
& * (Asegm_{before}) * 0.236483 + Weight * Bsegm_{before} * (-0.024) + Weight * \\
& * FV_{before} * (-0.00492598) + Duration * (Asegm_{before}) * 0.0013 + \\
& + Ventilation * (Asegm_{before}) * (-0.0001) + Gradient_{before} * Csegm_{before} * \\
& * (-0.0019) + Gradient_{before} * (Z - C_{(-)}) * 0.0077 + (Asegm_{before}) \\
& * (Z - A_{(-)}) * 0.192111 + (Asegm_{before}) * Csegm_{before} * (-0.247) + \\
& * Methods * (-0.1) + Csegm_{before}^2 * 0.1 + (Z - C_{(-)}) * FV_{before} * (-0.01) + \\
& * Methods * (-0.1) + Csegm_{before}^2 * 0.1 + (Z - C_{(-)}) * FV_{before} * (-0.01) + \\
& + FV_{before} * Methods * 0.045 + FV_{before}^2 * 0.00026 + Methods * (-1.96);
\end{aligned}$$

Продемонструємо також таблиці з точністю для кожної з цих моделей (рис. 1–3).

Вихідна змінна: "A segm_after"			
Результати заключної обробки	Навчання	Екзамен	Тест
Число спостережень	311	89	45
Макс. від'ємне відхилення	-3,32659	-2,37054	-2,25369
Макс. додатне відхилення	2,95317	17,6793	19,56324
Середній модуль помилки (MAE)	0,13426	0,15472	0,172562
Середньоквадратичне відхилення (RMSE)	0,162573	0,20782	0,222513
Сума відхилень	1,3658E-12	0,81472	0,942365
Стандартне відхилення залишків	0,13751	0,15426	0,175462
Коефіцієнт детермінації (R ²)	0,89124	0,85147	0,824723
Кореляція	0,90012	0,88692	0,852613

Рис. 1. Точність для прогнозованої змінної A segm_after

Вихідна змінна: "B segm_after"			
Результати заключної обробки	Навчання	Екзамен	Тест
Число спостережень	307	77	61
Макс. від'ємне відхилення	-3,29889	-4,0733	-6,57821
Макс. додатне відхилення	2,70797	3,94304	5,247513
Середній модуль помилки (MAE)	0,13154	0,14752	0,175123
Середньоквадратичне відхилення (RMSE)	0,18472	0,20571	0,235778
Сума відхилень	1,8561E-12	0,77452	0,842132
Стандартне відхилення залишків	0,18741	0,20781	0,234755
Коефіцієнт детермінації (R ²)	0,86547	0,84472	0,805513
Кореляція	0,87482	0,84851	0,825473

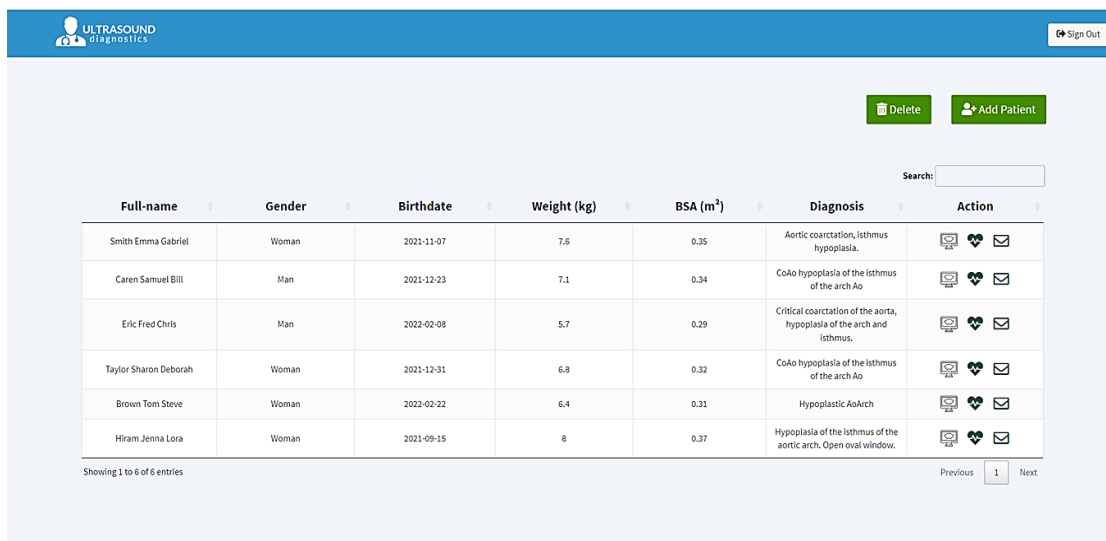
Рис. 2. Точність для прогнозованої змінної B segm_after

Вихідна змінна: "C segm_after"			
Результати заключної обробки	Навчання	Екзамен	Тест
Число спостережень	302	82	61
Макс. від'ємне відхилення	-6,22382	-2,58183	-2,23578
Макс. додатне відхилення	3,96631	2,63611	2,257861
Середній модуль помилки (MAE)	0,14571	0,15472	0,168752
Середньоквадратичне відхилення (RMSE)	0,17852	0,18324	0,205234
Сума відхилень	1,8457E-12	0,95823	0,994751
Стандартне відхилення залишків	0,17159	0,18152	0,265822
Коефіцієнт детермінації (R ²)	0,87582	0,85473	0,854234
Кореляція	0,88513	0,86587	0,825423

Рис. 3. Точність для прогнозованої змінної C segm_after

Як бачимо середній модуль помилки MAE в цих моделях коливається від 0,168 до 0,175, середньо-квадратичне відхилення RMSE від 0,205 до 0,235 – на тестових наборах даних, що є хорошим результатом в обох випадках адже чим меншою є MAE та RMSE, тим кращим вважають прогноз. Також варто звернути увагу на коефіцієнт детермінації та кореляції, які в межах від 0,806 до 0,854 та 0,825 до 0,852 відповідно, що також є хорошим результатом, адже обидва показники показують найкращий прогноз, коли є рівними 1.

Розробка програмного забезпечення. За допомогою мови програмування R, та фреймворку Shiny був реалізований програмний додаток для оцінки стану пацієнтів в динаміці, за допомогою якого можна відслідковувати прогрес ультразвукових показників після операції. Для унеможливлення незаконного доступу до додатка було створено форму логіну та паролю з обов'язковою функцією реєстрації та відновлення паролю. На головній вкладці додатку – загальні дані пацієнта представлені в зручній табличній формі, де кожен рядок відповідає одному конкретному пацієнтові, наявна функції пошуку, додавання та видалення, пацієнта.



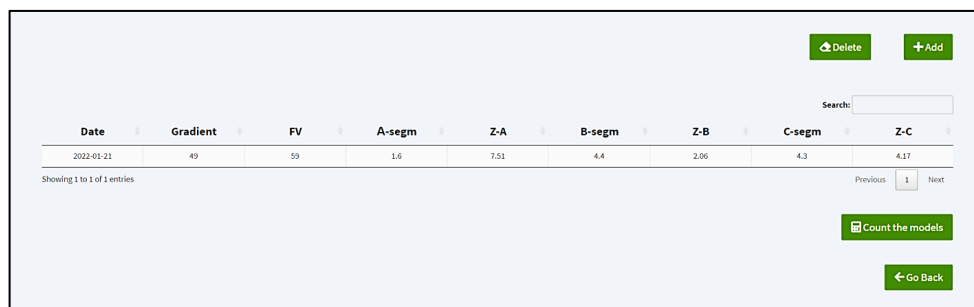
Full-name	Gender	Birthdate	Weight (kg)	BSA (m ²)	Diagnosis	Action
Smith Emma Gabriel	Woman	2021-11-07	7.6	0.35	Aortic coarctation, isthmus hypoplasia.	
Caren Samuel Bill	Man	2021-12-23	7.1	0.34	CoAo hypoplasia of the isthmus of the arch Ao	
Eric Fred Chris	Man	2022-02-08	5.7	0.29	Critical coarctation of the aorta, hypoplasia of the arch and isthmus.	
Taylor Sharon Deborah	Woman	2021-12-31	6.8	0.32	CoAo hypoplasia of the isthmus of the arch Ao	
Brown Tom Steve	Woman	2022-02-22	6.4	0.31	Hypoplastic AoArch	
Hiram Jenna Lora	Woman	2021-09-15	8	0.37	Hypoplasia of the isthmus of the aortic arch, Open oval window.	

Showing 1 to 6 of 6 entries

Рис. 4. Вкладка з загальними даними пацієнтів

Для кожного пацієнта наявні додаткові кнопки додавання загальних УЗД параметрів, додавання операційних даних, та функція листування з пацієнтом, яка значно спрощує комунікацію між лікарем та хворим.

При наявності УЗД даних та операційних даних, ми можемо розрахувати наші моделі на вкладці з УЗД параметрами за допомогою кнопки "Count the models", та отримати прогнозовані дані.



Date	Gradient	FV	A-segm	Z-A	B-segm	Z-B	C-segm	Z-C
2022-01-21	49	59	1.6	7.51	4.4	2.96	4.3	4.17

Showing 1 to 1 of 1 entries

Count the models

Go Back

Рис. 5. Вкладка з ультразвуковими даними

Висновки. На основі бази даних отриманої в результаті клінічних випробувань в «Національному інституті серцево-судинної хірургії імені М. М. Амосова» сформованої з 2011 по 2019, було проаналізовано 445 пацієнтів до 1 року життя та на їх основі за допомогою методу групового угруповання аргументів було побудовано 8 моделей, які дозволяють спрогнозувати показники УЗД у віддаленому періоді на основі доопераційних показників з високою точністю, коефіцієнт детермінації всіх моделей коливався в межах від 0,806 до 0,854 на тестовому наборі даних. Реалізовано програмний додаток за

допомогою фреймворку Shiny на мові програмування R, в якому наявні функції обліку пацієнтів з можливістю редагування клінічних даних, відправкою листів від лікаря до пацієнта та з можливістю прогнозування УЗД показників у віддаленому періоді.

Counted models	
Models	Value
Gradient	17
FV	58
A-segm	4.9
Z-A	3.34
B-segm	4.5
Z-B	1.9
C-segm	4.5
Z-C	3.95

Рис. 6. Прогнозовані показники

Список використаних джерел:

1. Сухарева Г.Э. Алгоритм диспансеризации детей с коарктацией аорты. *Практическая медицина*. 2019. № 2. С. 105–110.
2. Amanda J. S., Richard F. I., Bradley S. M. Aortic morphometry and microcephaly in hypoplastic left heart syndrome. *Cardiology in the Young*. 2007. № 17. С. 189–195.
3. Синельников Ю. С., Кшановская М. С., Горбатов А. В., Иванцов С. М., Прохорова Д. С. Гипоплазия дуги аорты. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2013. № 3. С. 68–72.
4. Тимошок В. Л., Дедович В. В., Дроздовская В. В., Дроздовский К. В. Отдаленные результаты лечения коарктации аорты с гипоплазией дуги и перешейка у детей до 1 года. *Научные стремления*. № 20. С. 86–87.
5. Синельников Ю. С., Гасанов Э. Н., Сойнов И. А., Мирзазаде Ф. А. Диагностика коарктации с гипоплазией дуги аорты. *Биомедицина*. 2016. № 1. С. 4–10.
6. Ялинская Т. А. Коарктация аорты: магнитно-резонансная томография на до- и послеоперационном этапе. *Клиническая анатомия та оперативна хірургія*. 2013. № 3. С. 54–58.
7. Сойнов И. А., Синельников Ю. С., Горбатов А. В., Ничай Н. Р. Артериальная гипертензия у пациентов после коррекции коарктации и гипоплазии дуги аорты. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2015. № 2. С. 102–112.
8. Сойнов И. А., Синельников Ю. С., Омельченко А. Ю. Эластические свойства аорты у пациентов после различных вариантов коррекции коарктации аорты: результаты проспективного когортного исследования. *Артериальная Гипертензия*. 2016. № 22. С. 466–475.
9. Сойнов И. А., Синельников Ю. С., Кливер Е. Э. Морфологические особенности брахиоцефальных артерий у пациентов с гипоплазией дуги аорты. *Патология кровообращения и кардиохирургия*. 2015. № 4. С. 14–18.
10. Ильинов В. Н., Кривошеков Е. В., Шипулин В. М. Хирургическое лечение коарктации аорты в сочетании с гипоплазией дуги. *Сибирский медицинский журнал*. 2014. № 3. С. 80–86.

References:

1. Sukhareva, H. E. (2019). Algorithm dispanserizatsii detey s koarktatsiey aortyi [Algorithm for clinical examination of children with coarctation of the aorta]. *Prakticheskaya meditsina – Practical Medicine*, 2, 105–110. [in Russian]
2. Amanda, J. S., Richard, F. I., Bradley, S. M. (2007). Aortic morphometry and microcephaly in hypoplastic left heart syndrome. *Cardiology in the Young*, 17, 189–195. [in English]
3. Synelnykov, Yu. S., Kshanovskaia, M. S., Horbatiykh, A. V., Yvantsov, S. M., Prokhorova, D. S. (2013). Gipoplaziya dugi aortyi [Hypoplasia of the aortic arch]. *Patologiya krovoobrascheniya i kardiohirurgiya – Circulatory pathology and cardiac surgery*, 3, 68–72. [in Russian]
4. Timoshok, V. L., Dedovich, V. V., Drozdovskaya, V. V., Drozdovskiy, K. V. Otdalennyye rezultaty lecheniya koarktatsii aortyi s gipoplaziey dugi i peresheyka u detey do 1 goda [Long-term results of treatment of coarctation of the aorta with hypoplasia of the arch and isthmus in children under 1 year of age]. *Nauchnyye stremleniya – Scientific aspirations*, 20, 86–87. [in Russian]

5. Sinelnikov Yu.S., Gasanov E. N., Soynov I. A., Mirzazade F. A. (2016). Diagnostika koarktatsii s gipoplaziey dugi aortyi [Diagnosis of coarctation with hypoplasia of the aortic arch]. *Biomeditsina – Biomedicine*, 1, 4-10. [in Russian].
6. Yalynskaia, T. A. (2013). Koarktatsiia aorty: mahnitno-rezonansna tomohrafiia na do- i pisliaoperatsiinomu etapi [Aortic coarctation: magnetic resonance imaging in the pre- and postoperative stages]. *Klinichna anatomiia ta operatyvna khirurgiia – Clinical anatomy and operative surgery*, 3, 54–58. [in Ukrainian]
7. Soynov, I. A., Sinelnikov, Yu. S., Gorbatiy, A. V., Nichay, N. R. (2015). Arterialnaya gipertenziya u patsientov posle korrektsii koarktatsii i gipoplazii dugi aortyi [Arterial hypertension in patients after correction of coarctation and hypoplasia of the aortic arch]. *Patologiya krovoobrascheniya i kardiokhirurgiya – Circulatory pathology and cardiac surgery*, 2, 102–112. [in Russian]
8. Soynov, I. A., Sinelnikov, Yu. S., Omelchenko, A. Yu. (2016). Elasticheskie svoystva aortyi u patsientov posle razlichnykh variantov korrektsii koarktatsii aortyi: rezul'taty prospektivnogo kogortnogo issledovaniya [Elastic properties of the aorta in patients after various options for correcting aortic coarctation: results of a prospective cohort study]. *Arterialnaya Gipertenziya – Arterial hypertension*, 22, 466–475. [in Russian]
9. Soynov, I. A., Sinelnikov, Yu. S., Kliver, E. E. (2015). Morfologicheskie osobennosti brahiotsefalnykh arteriy u patsientov s gipoplaziey dugi aortyi [Morphological features of brachiocephalic arteries in patients with aortic arch hypoplasia]. *Patologiya krovoobrascheniya i kardiokhirurgiya – Circulatory pathology and cardiac surgery*, 4, 14–18. [in Russian]
10. Ilinov, V. N., Krivoschekov, E. V., Shipulin, V. M. (2014). Hirurgicheskoe lechenie koarktatsii aortyi v sochetaniis gipoplaziey dugi [Surgical treatment of aortic coarctation in combination with arch hypoplasia]. *Sibirskiy meditsinskiy zhurnal – Siberian medical journal*, 3, 80–86. [in Russian]

УДК 0045

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.7>**Любов КРЕСТЬЯНПОЛЬ**

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри прикладної лінгвістики, Волинський національний університет імені Лесі Українки, просп. Волі 13, Луцьк, Україна, індекс 43025 (lkrestyanpol@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-3617-7900

Lyubov KRESTYANPOL

PhD in Technical Science, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Applied Linguistics, Lesya Ukrainka Volyn National University, 13 Voli ave., Lutsk, Ukraine, postal code 43025 (lkrestyanpol@gmail.com)

Бібліографічний опис статті: Крестьянполь, Л. (2022). Дослідження впливу споживчої поведінки на інформаційну компоненту системи моніторингу якості харчової продукції. *Інформаційні технології та суспільство*, 2 (4), 49–57. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.7>

Bibliographic description of the article: Krestianpol, L. (2022). Doslidzhennia vplyvu spozhyvchoi povedinky na informatsiinu komponentu systemy monitorynhu yakosti kharchovoi produktsii [Exploring the influence of consumer behavior on the information component product quality monitoring system]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information technology and society*, 2 (4), 49–57. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.7>

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ СПОЖИВЧОЇ ПОВЕДІНКИ НА ІНФОРМАЦІЙНУ КОМПОНЕНТУ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЯКОСТІ ХАРЧОВОЇ ПРОДУКЦІЇ

У статті проведено дослідження впливу споживчої поведінки на формування та наповнення інформаційної компоненти автоматизованої системи моніторингу якості харчової продукції. Розроблена система дозволяє запобігати втратам харчових продуктів на усіх етапах її життєвого циклу. Система містить програмну апаратну та інформаційну компоненти, які забезпечують її функціонування. Інформаційна компонента формується шляхом генерації баз даних, які пов'язані із програмним забезпеченням, а також з інформацією, яка отримується від споживачів, шляхом заповнення веб форм, або через мобільний застосунок. Врахування соціального аспекту у даній системі є вкрай важливим, адже без нього не можливо вважати дану систему повноцінною. В свою чергу, прийняття рішення споживачем про участь у даній системі залежить від типу його споживчої поведінки. Для більш глибокого розуміння соціальної складової розробленої системи, автором досліджено поняття «споживчої поведінки» та розглянуто можливість її корегування. У роботі описано формування споживчої поведінки з точки зору психології та економіки. Описано етапи обробки інформації за моделлю Вільяма Мак-Гіра. Розглянуто можливість корегування споживчої поведінки, для спонукання до участі у системі збору інформації, за допомогою методів соціальної інженерії. Описано фази споживчого вибору на яких можливо здійснювати корегування поведінки споживача. Автором розроблено та запропоновано для використання стратегії для корегування споживчої поведінки у межах розробленої концепції розумної упаковки. Розроблені стратегії спонукатимуть споживачів до участі у інформаційній системі збору даних та формуванні відповідних баз даних. Автором розглянуто важелі впливу при раціональній та ірраціональній поведінці, а також описано схему впливу на споживчу поведінку.

Ключові слова: споживча поведінка, соціальна інженерія, веб форма, автоматизована система, раціональне споживання.

EXPLORING THE INFLUENCE OF CONSUMER BEHAVIOR ON THE INFORMATION COMPONENT PRODUCT QUALITY MONITORING SYSTEM

In the article the research of influence of consumer behavior on formation and filling of information components of the automated product quality monitoring system. The developed system allows to prevent food losses at all stages of its life cycle. The system contains software hardware and information components that ensure its operation. The information component is created by generating databases that are related to the software, as well as obtained from consumers, filling out web forms or through a mobile app. The social aspect of the system is taken into account in the region, because without it it cannot be considered a full-fledged system. In turn, the decision of the consumer to participate in this system depends on the type of consumer behavior. For a deeper understanding of the social component of the developed system, the author explored the concept of "consumer behaviour" and considered the possibility of its adjustment. The paper describes the formation of consumer behavior in terms of psychology and economics. The stages of information processing for William McGeer's model are described. The possibility of correcting consumer behavior to encourage participation in the system of collecting information using social engineering methods is considered. The phases of consumer choice in which it is possible to adjust consumer behavior are described. The author has developed and recommended the use of strategies for the correction of consumer behavior within the developed concept of smart packaging. Strategies for motivating consumers to participate in the information system of data

collection and the formation of appropriate databases have been developed. The author considers the important impact on rational and irrational behavior, as well as describes the impact on consumer behavior.

Key words: consumer behavior, social engineering, web form, automated system, rational consumption.

Постановка проблеми. Поведінка споживача – це комплекс дій і реакцій соціального суб'єкта у сфері споживання, що включає економічний інтерес і соціальну взаємодію. Економічна складова такої поведінки припускає: здійснення вибору найбільш вигідних альтернатив; раціональність суб'єкта, що діє, наявність в його діях обдумування результатів поведінки з погляду його ефективності; обумовленість економічними мотивами максимізації матеріальної вигоди; інформованість про можливі шляхи задоволення своїх потреб. Але, з іншого боку, поведінку споживачів важливо розглядати в контексті соціальних відносин, що описуються моделлю “homo economicus” основними характеристиками якої є: обумовленість поведінки соціокультурними умовами; неможливість вироблення раціональної схеми поведінки людини: одиничні дії людини можуть відрізнятися спонтанністю і непередбачуваністю [1]. Виходячи з цього поведінку споживача можна розділити на раціональну та ірраціональну. Та чи можна вплинути та змінити поведінку споживача? У даній статті розглянуто можливість застосування методів соціальної інженерії задля зміни раціональної та ірраціональної поведінки споживача у межах розробленої концепції «розумної упаковки».

Сьогодення вимагає від суспільства дотримуватись раціонального споживання як ресурсів і сировини так і продуктів харчування. Проблема росту харчових відходів стає глобальною. Щороку тонни готової їжі та напівфабрикатів опиняються на смітнику. Це спричиняє не лише екологічні проблеми, але і економічні та соціальні. Не кращою є ситуація із втратами харчових продуктів під час виробництва (виросування, вилову). Якщо на виробництві процес виготовлення контролюється виробником то під час транспортування, реалізації та споживання цей процес майже некерований. У точках реалізації та магазинах за появою харчових втрат та відходів слідкують безпосередньо працівники, які не завжди вчасно можуть виявити товар із закінченим терміном придатності. Такі товари зазвичай відправляються у харчові відходи, або ж споживачі із необережності можуть придбати такий товар. В свою чергу, споживачі на етапі споживання товару також створюють значний відсоток харчових відходів. Це спричинено низкою причин. Однією з них є довгий термін придатності продуктів. Часто занадто тривалий термін придатності здається споживачам підозрілим, тому вони намагаються позбутися від того чи іншого продукту принаймні за кілька днів до його завершення. Зворотною причиною – є навпаки занадто короткий термін придатності та споживачі не встигають використати даний товар за призначенням. Ще однією причиною появи харчових відходів є – невміння розраховувати об'єми споживання. Проведені експерименти [2] демонструють, що люди не вміють правильно визначати, скільки їжі вони можуть з'їсти за певний період часу. Придбання непотрібних продуктів – це проблема, яка існує в реальному житті. Досить часто споживачі купують ту їжу, яку не люблять або вважають не зовсім корисною через цікавість або інші неочевидні мотиви.

Ще однією причиною появи харчових відходів є порушення правил зберігання. Дуже часто їжа стає непридатною до споживання через те, що її неправильно зберігають або порушені умови транспортування. Порушення правил товарного сусідства, повторне заморожування, збої температурного режиму – все це призводить до неминучої втрати корисних властивостей.

Нераціональне ставлення до продуктів харчування тягне за собою неприємні та навіть небезпечні наслідки. Неправильний підхід до вживання та зберігання їжі призводить до незапланованих фінансових витрат. Їжу доводиться купувати частіше. На виробництво харчових продуктів витрачається занадто багато ресурсів, тому їх викидання на смітник – це ще й відчутний удар по навколишньому середовищі.

Результатом дослідження даної тематики є розроблена автором концепцію розумного споживання яка детально описана у працях [3]. У даних дослідженнях представлено аналіз системи збору інформації, спрямованої на вдосконалення концепції «розумної» упаковки. Автор пропонує інноваційний підхід до розуміння поняття «розумна» упаковка як невід'ємної єдності сучасних технічних рішень та соціальної відповідальності людини. У статтях висвітлюється можливість використання технології RFID передачі даних для підтримки продуктивності системи збору інформації. Процедури кодування RFID-міток та отримання отриманої інформації чітко визначені та проілюстровані експериментальними даними.

Одним із складових елементів даної системи є споживач, який має свою споживчу поведінку і від дій якого залежить інформування у цій системі. Саме споживачі на рівні інформування у системі мають можливість вносити необхідну інформацію про товар, а саме про дефекти, пошкодження чи закінчення терміну придатності харчових продуктів. Тому наступним дослідженням автора яке він розглядає у даній статті є аналіз споживчої поведінки та можливість впливу на неї способами соціальної інженерії.

Мета статті – дослідити вплив споживчої поведінки на інформаційну компоненту автоматизованої системи моніторингу якості харчової продукції.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Фундаментальні основи трактування сутності потреб споживачів сформовано у працях А. Маслоу, Р. Блекуелл, У. Джеймс, їх зусиллями створений міцний теоретико-методологічний фундамент дослідження означеної проблематики, вирішено багато її методичних та прикладних аспектів. Передумови теорії раціонального вибору виникли ще в середині XVIII – початку XIX ст. у вченнях про моральність шотландської школи моралі, представники якої вперше запропонували індивідуалістичну концепцію раціональної поведінки людей і звернули увагу на її плідність для пояснення інших суспільних явищ. Суттєвий внесок у розвиток еволюційної теорії індивідуальної поведінки був зроблений Р. Нельсоном та С. Уінтером [4]. Серед досліджень у сфері теорії поведінки споживача привертає увагу праця Z. Saeed [5] та Michael S. Miller [6].

Теорія раціонального споживання, основи якої були закладені R. Stark [7], Amartya Sen [8], J. Meyer, [9] і іншими в рамках розробки «раціонального споживчого бюджету» розглядає можливість визначення цільових орієнтирів споживання. Як такі можуть виступати фізіологічні потреби, функціональні побутові процеси, соціальні вимоги. Раціональність в економічній теорії реалізується перш за все в моделі «економічної людини». «Економічна людина» змістовно визначається як сукупність відносин взаємобміну людини з природним і соціальним середовищем оскільки цей обмін забезпечує його засобами для задоволення матеріальних потреб [10]. У своїй праці О. В. Алейнікова [1] виділяє наступні риси «Економічної людини»:

- дії підпорядковані одному мотиву – егоїстичному прагненню до власного блага, що виражається в максимізації корисності;
- визначені потреби, які обмежені лише наявністю ресурсів;
- раціональність прийнятих рішень;
- автономність у прийнятті рішень.

Неокласики споживчу поведінку розділяють на раціональну та ірраціональну. Раціональна включає у себе:

- цільову функцію (цілеспрямованість діяльності – людина прагне до якнайкращого задоволення своїх потреб, під якими розуміються потреби матеріальні, такі, що задовольняються за рахунок зовнішніх джерел);
- зовнішню інформацію, доступну при виборі і ухваленні рішень;
- інтелектуальні можливості людини: пам'ять, в якій зберігається інформація про ієрархію потреб, ступені їх задоволення, і розум, що дозволяє розрахувати результати своїх можливих вчинків, зважити їх важливість і вибрати якнайкращий варіант.

Ірраціональна споживча поведінка ґрунтується на логічно немотивованих вчинках. Споживач несвідомо або під впливом певних емоцій здійснює певні дії.

Сучасний маркетинг та реклама мають у своєму арсеналі витончені методи переконання, які використовують останні досягнення в галузі психології, соціології й інших наук, що вивчають поведінку людини. Вивчення й урахування ірраціональних форм прийняття рішень – золота жила сучасного маркетингу, насамперед реклами. Маркетингові технології використовують увесь можливий арсенал засобів впливу на споживача, заснованих на механізмах імітації, зараження і сугестії (гіпноз, навіювання). Стимулювання до неусвідомлених дій часто приховане за зовнішньо невразливими формами маркетингового впливу, що, як здається на перший погляд, споживач може раціонально проаналізувати.

Якщо охарактеризувати ці два типи поведінки одним словом то для раціональної відповідне слово – думка, а для ірраціональної – почуття. Цікавий приклад формування споживчої поведінки наведено у праці [11] де автор розглядає формування ставлення та наміру на основі думки та почуття рис. 1.

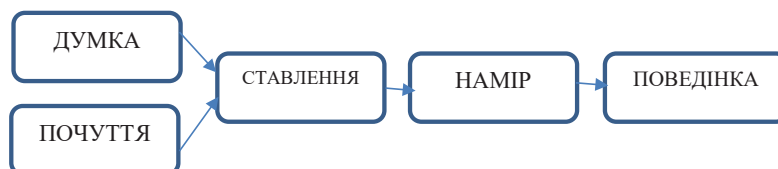


Рис. 1. Формування споживчої поведінки

Усі складові споживчої поведінки наведені на рис. 1 є важливими елементами які можуть розглядатись як вектор атаки при формуванні стратегії соціальної інженерії. Автор розглядає можливість застосування методів соціальної інженерії задля зміни споживчої поведінки.

Зазвичай поняття «соціальна інженерія» найчастіше використовується в контексті шахрайських дій, кіберзлочинів та маніпулюванні. Сьогодні існує чимало методів використання соціальної інженерії в основі яких лежить маніпуляція людськими страхами, зацікавленістю або довірою. У своїх роботах R. Moseley [12] розглядає різні психологічні моделі та психологію маніпулювання окремою особою або групою людей. Проте, соціальна інженерія може застосовуватись на благо суспільства для вирішення певних проблем. Дана стаття присвячена саме використанню методів соціальної інженерії задля реалізації політики розумного споживання ресурсів.

Виклад основного матеріалу. Впродовж двох десятиріч років людство активно обговорює та вирішує проблему утилізації упаковки. В результаті виникають нові технології по переробці упаковки, нові екологічні пакувальні матеріали, та способи пакування. Проте наразі існує інша проблема, яка є глобальнішою та малодослідженою. Цією проблемою є раціональне використання природних ресурсів. Відповідно до досліджень міжнародних організацій (ООН, FAO і UNEP), головним джерелом екологічного забруднення в світі на сьогоднішній день є харчові відходи. Щороку на планеті виробляється 4 млрд тонн харчових продуктів, з яких третя частина йде у відходи (1,3 тонн відходів) [13]. В свою чергу ООН розробило програму "Save Food" яка ставить перед собою по-справжньому глобальні цілі – знайти ефективні способи зниження рівня харчових відходів та втрат харчових продуктів, збереження та раціональне використання природних ресурсів якими володіють люди, зменшення впливу людини на екологію, а також боротьби з недоїданням і голодом у світовому масштабі. За інформацією Food and Agriculture Organization of the United Nations [13] найбільші втрати відбуваються у чотирьох групах споживчих товарів. А саме: м'ясо і м'ясні товари, риба і морепродукти, овочі та фрукти, молочні продукти. Також значні втрати відбуваються у точках реалізації та зберігання продуктів харчування.

У межах цієї ініціативи автором запропоновано створення концепції розумної упаковки [14], яка б забезпечувала належне зберігання харчових продуктів, та попереджала появу харчових відходів. Одним із кроків реалізації концепції розумної упаковки є розробка системи збору та обробки інформації. Система реалізується через апаратне, програмне забезпечення та включає соціальні аспекти інформаційних відносин. Якщо із технічним забезпеченням все зрозуміло, то питання інформаційного забезпечення, саме крізь призму певного соціуму вимагає детального дослідження.

Одним із елементів функціонування даної системи є споживач. Він є джерелом інформування системи та допомагає адміністраторам торгового залу попереджати появу харчових відходів. Для виявлення та повідомлення про неліквідні товари споживачу необхідно заповнити вебформу. Посилання на вебформу міститься на ціннику у вигляді QR коду. Зразок вебформи наведено на рисунку 2. Вибравши необхідні пункти споживач інформує систему про наявність неліквідних товарів у певній торговій зоні.

Consumer's name:

Product's name

Storage shelf number

Barcode:

Indicate type of the information to share:
☐ Information about the product.
☐ Information about product storage conditions.
☐ Other.

Information about the product:
☐ lack of product
☐ mechanically damaged goods
☐ contaminated goods
☐ the signs of product use
☐ the signs the spoiled product
☐ other

Your comment

Рис. 2. Загальний вигляд веб форми для заповнення споживачами

Кожного споживача можна охарактеризувати наявністю певної споживчої поведінки. В залежності від типу поведінки споживач прийматиме активну участь у роботі системи, або ні. Для того, щоб визначити рівень зацікавленості споживачів у прийнятті участі в роботі системи, було проведено опитування потенційних учасників. Автором опитано понад 1000 потенційних споживачів, яким поставлено перелік запитань що стосуються засад створення системи моніторингу якісних показників продукції. Зокрема, основні запитання які мають на меті визначити мотивацію споживача:

- Запитання 1. Чи турбує Вас забруднення навколишнього середовища харчовими відходами?
- Запитання 2. Чи хотіли б Ви раціонально розподіляти фінансові витрати на продукти харчування?
- Запитання 3. Купуючи у магазині продукти харчування чи цікавитесь Ви терміном придатності продукції?
- Запитання 4. У торговому залі магазину є можливість споживачеві виявляти і вказувати на дефекти товару. Чи будете Ви виявляти та вказувати на дефекти?

Результати опитування опрацьовано та виділено певні фокус групи. Для зручності опрацювання результатів опитаних розділили за статтю (жінки та чоловіки), а також за віковою категорією (18–35 років, 36–55 років, 56+ років). Варто зазначити що активнішу участь у опитуванні приймали жінки та чоловіки віковою категорією 18–35 років. Кількість опитаних респондентів наведена на рис. 3.

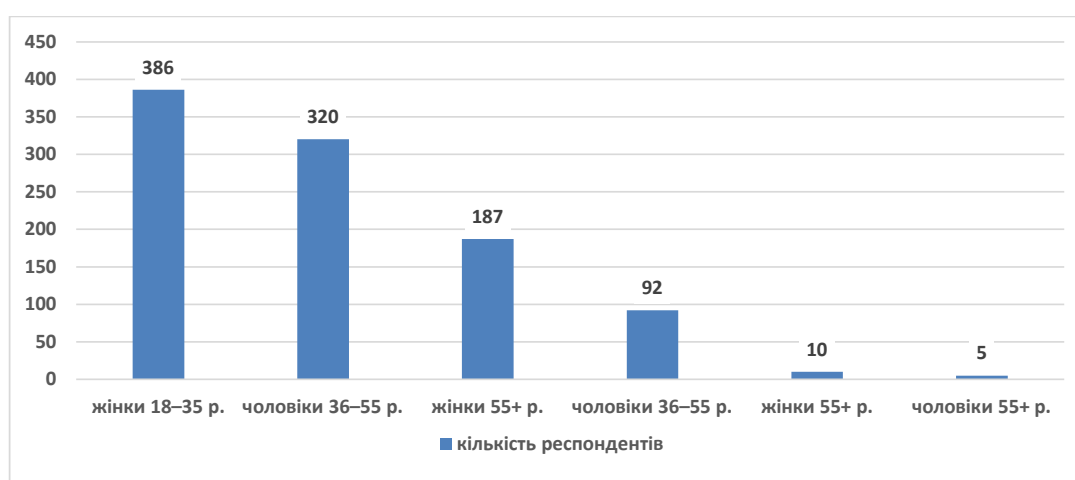


Рис. 3. Кількісний, віковий та гендерний склад респондентів

Метою опитування є встановлення цільової аудиторії, визначення вікової категорії та гендерної приналежності, задля підбору стратегій впливу на споживчу поведінку. Результати опитування представлені на рисунку 4.

Аналізуючи отримані дані можна зробити висновок що 91,5 % респондентів позитивно ставляться інформування у системі моніторингу якості харчової продукції та приймуть у ній участь. Що ж стосується цільової аудиторії, то аналіз показав що найбільш вмотивованими є жінки та чоловіки вікової категорії 18–35 років. В свою чергу відповідно до гендерного розподілу жінки є більш активними учасниками опитування (59 %) ніж чоловіки (32,5 %).

Аналізуючи отримані дані можна стверджувати, що більшість респондентів хотіла б приймати участь у системі моніторингу якості товарів. Проте, великий відсоток опитаних вказує на отримання додаткових привілеїв (знижка чи бонусні бали). Це спричинено певним типом споживчої поведінки. Тому для кращого розуміння, яким способом краще спонукати споживачів до участі у системі варто розглянути формування споживчої поведінки та її типи.

Повертаючись до рис. 1 формування споживчої поведінки починається із думки для раціональної та із почуття – для ірраціональної. Якщо аналізувати раціональну поведінку то споживач бажає отримати максимум благ за мінімум ресурсів. У розробленій системі моніторингу якості товарів благо не має матеріальної форми і являється актом дії споживача. В даному випадку заповнення веб форми. Дія є добровільною і повністю залежить від бажання або наміру споживача. Ресурсом же виступає особистий час споживача який він витрачає на виконання цієї дії. Відповідно при раціональній поведінці споживач шукатиме баланс між дією і затраченим на неї часом. У цьому випадку певним мотиваційним важелем може виступати додаткове благо, як винагорода за витрачені ресурси. Таким благом можуть бути знижки на певні групи товарів, дисконтні карти, бонуси, які згодом можна обміняти на товар; привілеї в обслуговуванні.

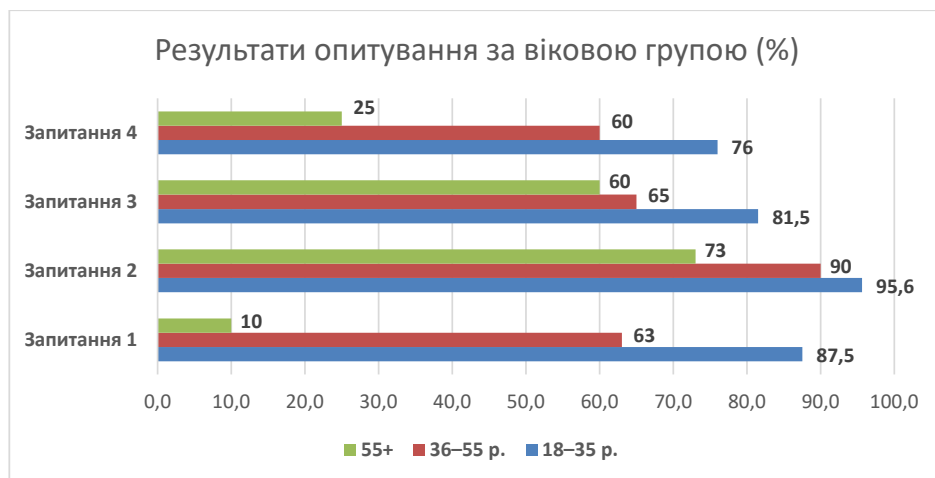


Рис. 4. Результати опитування фокус груп, щодо участі у системі моніторингу якості харчової продукції

Для ірраціональної поведінки вектором атаки є викликання у споживача певного почуття, яке в подальшому сформує намір. У ірраціональній поведінці можливо викликати наступні почуття споживачів:

- «Участь та значущість у великій справі». Споживач розуміє що своїми діям може допомогти до-вкільню та зменшити кількість харчових відходів.
- «Я один із них». Споживач долучається до спільноти із відомими людьми, політиками які підтри-мують дану ініціативу.

Для коректування споживчої поведінки автор пропонує застосувати соціальну інженерію, а саме спонукання до певних дій. Дані дії не несуть загрозу та шкоду споживачу і виконання їх залежить лише від бажання споживача. Для розуміння процесу впливу варто розглянути етапи обробки інформації. Оскільки поведінкова реакція споживача на спонукальні чинники залежить від того, які психологічні процеси відбуваються у свідомості людини, то їх розгляд допоможе зрозуміти і виділити ті фактори, які впливають на ймовірність проходження подразника через окремі етапи процесу обробки інформації. Обробка інформації – це процес отримання, інтерпретації, зберігання в пам'яті і відтворення подразни-ка. Згідно з моделлю Вільяма Мак-Гіра її можна поділити на п'ять основних етапів.

Із рис. 5 видно, що подразник, перш ніж потрапити у пам'ять, повинен пройти низку етапів оброб-ки інформації: контакт, увага, розуміння, сприйняття, запам'ятовування. Ефективність комунікації, яка викличе відповідну поведінкову реакцію споживача, буде залежати від її здатності пройти всі ці етапи.

Обробка інформації починається з того, що енергія у формі подразника досягає одного із п'яти від-чуттів людини. Контакт проходить при фізичному наближенні до подразника, що активізує одне або декілька відчуттів. Коли людина контактує із достатньо сильним стимулом, то активізуються сенсорні рецептори і закодована інформація через нервові закінчення передається до головного мозку. Це явище і є відчуттям. Завданням соціальної інженерії є – викликати потрібне відчуття за допомогою спеціаль-них повідомлень. Повідомлення можуть мати різні емоційні забарвлення. Наприклад, для раціональної

поведінки вони можуть бути як нейтральні так і позитивно забарвлені із акцентом на додаткові вигоди. Для ірраціональної поведінки можна застосовувати як позитивні так і негативні забарвлені меседжі. Метою повідомлення є пробудження відчуттів які спонукатимуть споживача до дії. Інструментом впливу є виступає подразник (повідомлення). Як подразник в даному випадку може виступати певний звук якщо це аудіомеседж, або певний колір, наприклад, червоний, якщо це відеомеседж.



Рис. 5. Етапи обробки інформації за моделлю Вільяма Мак-Гіра

Між типами поведінки, заснованими на переважно раціональному або ірраціональному механізми прийняття рішення, перебуває широкий діапазон перехідних форм поведінки. Оскільки споживчий вибір не є одомиттєвим явищем – це процес, то при його здійсненні дуже часто виявляються задіяні раціональні та ірраціональні психічні механізми. Автор підходить до цієї проблеми прагматично: процес вибору поділяє на фази і кожен з них розглядає окремо – як раціональну або ірраціональну.

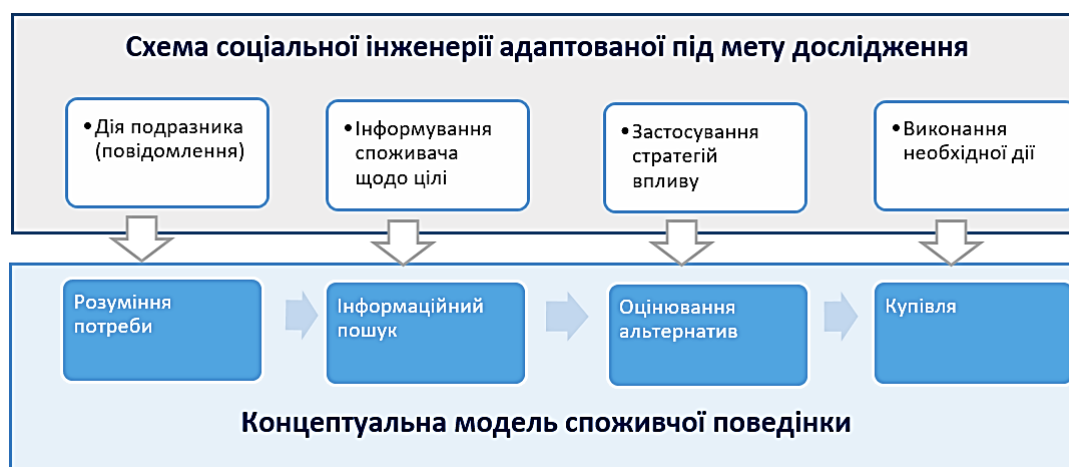


Рис. 6. Схема впливу на споживчу поведінку методами соціальної інженерії

Враховуючи вплив споживчої поведінки автором розроблено стратегії заохочування споживачів до заповнення веб форм. Стратегія для раціональної споживчої поведінки базується на створенні повідомлень (подразників) у яких описуватимуться додаткові, або бонусні можливості, які отримає споживач виконавши певну дію.

Стратегія для ірраціональної споживчої поведінки базується на формуванні у споживача певних відчуттів, які спонукатимуть його виконати дію.

Важливим моментом є визначення фази споживчого вибору під час якої необхідно застосувати дані стратегії. Для визначення фаз автор скористався класичною схемою у соціальній інженерії та адаптував під завдання дослідження (рисунок 6).

Мета соціальної інженерії – це отримання інформації, проте шляхи до цієї мети відрізняються. В схемі на рисунку 6 на першому етапі відбувається формулювання потреби у споживача. На цій фазі можливо застосовувати певний подразник який спонукає до прояву ірраціональної поведінки. У фазі інформаційного пошуку доцільно провести інформування споживача щодо мети впливу на об'єкт. Як

засіб можна використовувати певні написи біля товарів, або ж наліпки на стелажах. У фазі оцінювання альтернатив споживач приймає рішення щодо своїх подальших дій, тут важливо задіяти стратегії відповідно до того типу споживчої поведінки, яка у нього склалась на даний момент. Завершальною фазою є виконання необхідних дій. У цій фазі споживач заповнює веб форму та надсилає необхідну інформацію у систему моніторингу.

Висновки. Дослідження соціальної та економічної сторони у концепції розумної упаковки є необхідністю. Без участі споживачів дану концепцію не можна вважати повною. Система функціонує на потоках інформації від технічного забезпечення та із соціальної сфери. Поєднання технічного та соціального забезпечення дає більш повне та глибоке розуміння системи збору та обробки інформації в межах концепції розумної упаковки.

Список використаних джерел:

1. Алейнікова О. В. Концепція раціональної поведінки споживача та мотиви ірраціональності. *Економіка та держава*. 2014. № 3. С. 27–30. <http://www.economy.in.ua/?op=1&z=2695&i=4>
2. Spellman Frank R. *The Science of Waste* Taylor & Francis: Boca Raton. 2021, 298 p. <https://doi.org/10.1201/9781003252665>
3. Krestyanpol L. Economic feasibility of smart packaging under the global initiative "Save Food", *Technological Complexes* 2017. 1 (14), 68–74 pp. <http://paper.researchbib.com/view/issn/23044519/1/14>
4. Nelson R. R., Winter S. G. (1895). *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press, Cambridge. 1895, 454 p. <https://www.hup.harvard.edu/catalog.php?isbn=9780674272286>
5. Saeed Z. *A study of theories on consumer behavior*. Liverpool John Moores University. 2019. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14215.85929> [in English]
6. Michael S. Miller, (1983). *Methodology and the Theory of Consumer Behavior*, Review of Social Economy, 1983, Vol. 4, pp. 39–51. <https://doi.org/10.1080/00346768300000004>
7. Stark R., (1999). *Secularization*, R.I.P. Sociology of Religion, 1999, Vol. 60, no. 3, pp. 249–273. <https://doi.org/10.2307/3711936>
8. Sen A. K., (1977). *Rational Fools: A Critique of the Behavioral Foundations of Economic Theory*. Philosophy & Public Affairs, 1977, Vol. 6, no. 4, pp. 317–344. <http://www.jstor.org/stable/2264946>
9. Meyer J. W., Rowan B., (2004). *Institutionalized organizations: formal structure as myth and ceremony*, The New Economic Sociology: A Reader, 2004, pp. 86–110. Princeton University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctv1f886rp.6>
10. Субботін А. Раціонального вибору теорія // Українська дипломатична енциклопедія: У 2-х т. / Редкол.: Л. В. Губерський (голова) та ін. К.: Знання України, 2004 Т. 2. 812 с. ISBN 966-316-045-4.
11. Полторак В. Маркетингові дослідження: сутність, методи та технології. Соціологія: теорія, методи, маркетинг, 2000, Вип. 1. С. 108–128. <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/89581/10-Poltorak.pdf?sequence=1>
12. Moseley R. *Advanced Cybersecurity Technologies* (1st ed.). CRC Press, 2021. <https://doi.org/10.1201/9781003096894>
13. Official website of the food and agriculture organization of the united nations. <http://www.fao.org/savefood/resources/keyfindings/infographics/fruit/en/>
14. Biskub I. And Krestyanpol L. Developing a Simulation Model of the Information Gathering System Within the "Smart Packaging" Concept. In: Babichev S., Peleshko D., Vynokurova O. (eds) *Data Stream Mining & Processing. DSMP 2020. Communications in Computer and Information Science*, vol. 1158. 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4_28

References:

1. Aleinikova, O., (2014). Conception of rational conduct of user and reasons of irrationality, *Ekonomika ta derzhava*, Vol. 3, 27–30. <http://www.economy.in.ua/?op=1&z=2695&i=4> [in Ukrainian]
2. Spellman, Frank R., (2021). *The Science of Waste* Taylor & Francis: Boca Raton. <https://doi.org/10.1201/9781003252665> [in English]
3. Krestyanpol, L., (2017). Economic feasibility of smart packaging under the global initiative "Save Food", *Technological Complexes* Vol. 1, no. 14, 68–74. <http://paper.researchbib.com/view/issn/23044519/1/14> [in English]
4. Nelson, R. R., Winter, S.G., (1895). *An Evolutionary Theory of Economic Change*, Harvard University Press, Cambridge. <https://www.hup.harvard.edu/catalog.php?isbn=9780674272286> [in English]
5. Saeed, Z., (2019). *A study of theories on consumer behavior*. Liverpool John Moores University. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.14215.85929> [in English]
6. Michael, S. Miller, (1983). *Methodology and the Theory of Consumer Behavior*, Review of Social Economy, Vol. 4, 39–51. <https://doi.org/10.1080/00346768300000004> [in English]
7. Stark, R., (1999). *Secularization*, R.I.P. Sociology of Religion, Vol. 60, no. 3, 249–273. <https://doi.org/10.2307/3711936> [in English]
8. Sen, A. K., (1977). *Rational Fools: A Critique of the Behavioral Foundations of Economic Theory*. Philosophy & Public Affairs, Vol. 6, no. 4, 317–344. <http://www.jstor.org/stable/2264946> [in English]
9. Meyer, J. W., Rowan, B., (2004). *Institutionalized organizations: formal structure as myth and ceremony*, The New Economic Sociology: A Reader 86–110. Princeton University Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctv1f886rp.6> [in English]
10. Subbotin, A., (2004). *Rational choice of theory*. Ukrainian diplomatic encyclopedia, Kyiv. [in Ukrainian]

11. Poltorak, V. A., (2000). Marketing researches. Kyiv : Center for Educational Literature. <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/89581/10-Poltorak.pdf?sequence=1> [in Ukrainian]
12. Moseley, R., (2021). Advanced Cybersecurity Technologies (1st ed.). CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781003096894> [in English]
13. Official website of the food and agriculture organization of the united nations. <http://www.fao.org/savefood/resources/keyfindings/infographics/fruit/en/> [in English]
14. Biskub, I. And Krestyanpol, L., (2020). Developing a Simulation Model of the Information Gathering System Within the “Smart Packaging” Concept. In: Babichev S., Peleshko D., Vynokurova O. (eds) Data Stream Mining & Processing. DSMP 2020. Communications in Computer and Information Science, vol 1158 2020. https://doi.org/10.1007/978-3-030-61656-4_28 [in English]

УДК 004.664

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.8>

Олена КРИВОРУЧКО

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки, Державний торговельно-економічний університет, вул. Кіото, 19, Київ, Україна, індекс 02000 (ev_kryvoruchko@ukr.net)

ORCID: 0000-0002-7661-9227

Юлія КОСТЮК

здобувач PhD, старший викладач кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки, Державний торговельно-економічний університет, вул. Кіото, 19, Київ, Україна, індекс 02000 (kostyuk.yu@ukr.net)

ORCID: 0000-0001-5423-0985

Olena KRYVORUCHKO

DSc (Eng.), Professor, Head of the Department of Software Engineering and Cyber Security, Kyiv National University of Trade and Economics, 19 Kyoto str., Kyiv, Ukraine, postal code 02000 (ev_kryvoruchko@ukr.net)

Yuliia KOSTIUK

Applicant, Senior Lecturer at the Department of at Software Engineering and Cyber Security, Kyiv National University of Trade and Economics, 19 Kyoto str., Kyiv, Ukraine, postal code 02000 (kostyuk.yu@ukr.net)

Бібліографічний опис статті: Криворучко, О., Костюк, Ю. (2022). Розробка інформаційної системи підтримки прийняття рішень на базі SysML. *Інформаційні технології та суспільство*, 2 (4), 58–64. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.8>

Bibliographic description of the article: Kryvoruchko, O., Kostiuk, Yu. (2022). Rozrobka informatsiinoi systemy pidtrymky pryiniattia rishen na bazi SysML [Development of an information system for supporting decision based on SysML]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information echnology and society*, 2 (4), 58–64. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.8>

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ НА БАЗІ SYSML

Розглядаються процес створення інформаційної системи підтримки прийняття рішень якості продукції задля полегшення прийняття рішень під час моніторингу технологічного процесу та його прогнозування в умовах багатofакторності та невизначеності. **Метою статті** є проектування інформаційної системи підтримки прийняття рішень якості продукції, а саме виробництва вершкового масла. Реалізація поставленої мети передбачає використання **методології** SysML згідно із стандартом ISO/IEC/IEEE 42010:201, що дозволяє конкретизувати, візуалізувати та конструювати різні програмні аспекти системи. **Наукова новизна**. Проектування інформаційної системи із застосуванням мови системної інженерії SysML дозволяє показати багатокомпонентні підсистеми на ранніх етапах їх створення. У статті побудовані діаграма вимог (requirement diagram) та послідовності (sequence diagram). **Висновки**. Існує проблема щодо сучасних стандартів при проектуванні інформаційних систем підтримки прийняття рішень для технологічних процесів. Було показано доцільність використання методології системної інженерії SysML на основі стандартних діаграм. Розроблена діаграма вимог демонструє взаємозв'язки та взаємовпливи до загальних та уточнюючих вимог при проектуванні інформаційної системи підтримки прийняття рішень якості продукції. Діаграми послідовностей використовуються головним чином для того, щоб показати взаємодію між різними об'єктами в послідовному порядку передачі інформації, в якому відбувається ця взаємодія. Розроблені діаграми дозволяють полегшити інтегрування інформаційної системи підтримки прийняття рішень в підсистему автоматизованого управління технологічним процесом для забезпечення належного функціонування в режимі реального часу, мати зв'язок із системою автоматизації нижнього рівня та системами верхнього рівня диспетчеризації, та базою даних.

Ключові слова: інформаційна система, діаграма вимог, діаграма послідовності, методологія SysML, моніторинг, прогнозування.

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION SYSTEM FOR SUPPORTING DECISION BASED ON SYSML

The process of creating an information system to support product quality decision to facilitate decision-making during monitoring of the technological process and its forecasting in conditions of multifactoriality and uncertainty is considered. **The aim** of the article is to design an information system supporting decision-making by product quality, namely butter

production. The realization of the set goal involves the use of the SysML methodology in accordance with the ISO/IEC/IEEE 42010:201 standard, which allows specifying, visualizing and constructing various software aspects of the system. **Scientific novelty.** Designing an information system using the system engineering language SysML allows you to show multi-component subsystems at the early stages of their creation. The article contains both requirement and sequence diagrams. **Conclusions.** There are some issues in modern standards, specifically in the process of the creating of the decision support information systems for technological processes. There is shown the feasibility of using SysML system engineering methodology based on standard diagrams. The developed diagram of the requirements demonstrates the interrelationships and mutual influences to the general and clarifying requirements in the design of the information system to support decision-making by product quality. Sequence diagrams are used primarily to show the interaction among different objects in the sequential order in which that interaction occurs. The developed diagrams make it possible to facilitate the integration of the decision support information system into the subsystem of the automated control of the technological process to ensure proper functioning in real time, to have a connection with the lower-level automation system and upper-level dispatching systems, and the database.

Key words: information system, requirements diagram, sequence diagram, SysML methodology, monitoring, forecasting.

Актуальність. Створення сучасних інформаційних систем керування якістю продукції являється однією із актуальних задач сьогодення. Пріоритетними напрямками впровадження таких систем є процеси покращення прийняття рішень під час моніторингу технологічного процесу та його прогнозування в умовах багатофакторності та невизначеності. Традиційні методи не можуть в повній мірі забезпечити вирішення поставлених задач, тому варто застосовувати нові сучасні перспективні підходи на основі інтелектуальних технологій обробки, прогнозування та візуалізації технологічної інформації. Інформаційні системи підтримки прийняття рішень (ІСППР) містять апаратну, програмну та інформаційні складові. Враховуючи складності при проектуванні ІСППР та її інформаційну взаємодію із всіма складовими підприємства, виникає необхідність у застосуванні засобу системної інженерії SysML, що дозволяє конкретизувати, візуалізувати, конструювати різні програмні аспекти системи [1; 2].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. На сьогоднішній день немає універсального стандарту при проектуванні інформаційних систем, який би описував повністю як технічну сторону, так і програмно-інформаційну. Традиційним стандартом при проектуванні автоматизованих систем є ГОСТ 34.601-90 та ГОСТ 34.201-89. При проектуванні інформаційних систем керуються стандартами IEEE Std 1076-2008, ISO/IEC/IEEE 15288:2015, ISO/IEC/IEEE 12207:2017, ISO/IEC/IEEE 16326:2019 SEI (2021), OMG (2021). Сучасні інформаційні системи на основі інтелектуального аналізу даних використовують стандарти CWM, CRISP, PMML [3]. В свою чергу, проектування систем, яке є основним із напрямків у процесі системної інженерії, розглядає багатокомпонентні підсистеми на ранніх етапах їх створення. Важливу увагу приділяють моделям системи, що проектується. Так, у дослідженні [4] авторами запропоновано підхід до автоматичного виведення моделі логіки керування в IEC-61499 FB з моделі проектування системи в SysML. У роботі [5–7] авторами було покращено життєвий цикл розробки програмного забезпечення в управлінні процесами за допомогою UML/SysML. У роботі [8; 9] авторами застосовано SysML для моделі системної інтеграції проектування та моделювання мехатронних систем. У роботі [10] авторами використано SysML для проектування систем керування.

Тож актуальним завданням є застосування інтегрованої мови моделювання SysML згідно із стандартом ISO/IEC/IEEE 42010:201 для опису різних аспектів інформаційної системи.

Метою дослідження є проектування інформаційної системи підтримки прийняття рішень якістю продукції, а саме процесу виробництва вершкового масла на основі методології SysML.

Виклад основного матеріалу. Проведена характеристика технологічного процесу виробництва вершкового масла методом збивання свідчить про наявність невизначеностей різної природи та багатофакторності ризиків. Диспетчерське управління технологічним процесом має змінний характер і його складність залежить від самого об'єкта управління та інформаційно-обчислювальних систем, що впливає на прийняття рішень. Саме тому, інформаційна система підтримки прийняття рішень повинна забезпечувати постійний моніторинг технологічного процесу в режимі реального часу з метою попередження та/або недопущення нештатних ситуацій за рахунок прогнозування їхнього розвитку впродовж визначеного режиму функціонування.

До основних задач, які ставляться перед інформаційною системою підтримки прийняття рішень можна віднести наступне:

- зменшення браку продукції при наявних ресурсах;
- прийняття рішень в умовах невизначеності;
- координація та моніторинг технологічного процесу виробництва вершкового масла методом збивання;
- зменшення простоїв виробництва.

Важливою складовою інформаційної системи підтримки прийняття рішень є база даних, яка накопичує у собі дані технологічних параметрів проходження процесу та можливих нештатних ситуацій,

що виникають на підприємстві. В режимі реального часу операторам-технологам в певних нештатних ситуаціях досить важко спрогнозувати можливий розвиток ситуації, тому інформаційна система діагностики та прогнозування з використанням штучного інтелекту стає ефективним знаряддям для забезпечення належної якості готового продукту.

Постійний розвиток систем автоматизації та інформаційно-комунікаційних технологій зумовило тенденцію до зростання складності програмного забезпечення, що використовується у системах підтримки прийняття рішень, його обсягу та інтеграції. Поступово, моделювання займає одне із основних місць у різних галузях для опису таких систем на перших етапах їх створення. SysML є діалектом UML 2 для моделювання широкого кола систем, які можуть включати апаратне та програмне забезпечення, як мова системної інженерії для аналізу, конкретизації, проєктування складних систем з метою підвищення їх якості. SysML включає дев'ять діаграм (рис. 1) [1]:

- Package diagram – це статична структурна діаграма, яка показує зв'язки між елементами моделі та їх вмістом;
- Requirement diagram – використовується для опису функціональних та нефункціональних вимог всередині моделі;
- Activity diagram – використовується для опису поведінки системи та її частин;
- Sequence diagram – описує динамічну поведінку системи як взаємодії між розподіленими об'єктами за допомогою повідомлень;
- State machine diagram – описує динамічну поведінку системи, яка показує послідовність станів, через який проходить об'єкт;
- Use case diagram – описує функціональність системи та те, як користувачі взаємодіють з нею;
- Block definition diagram – визначає системні статичні структури, які будуть використовуватися для об'єктів керування, об'єктів даних та об'єктів інтерфейсу;
- Internal block diagram – це статична структурна діаграма, яка показує його інкапсульований структурний вміст: частини, властивості, роз'єми, порти та інтерфейси;
- Parametric diagram – визначає обмеження на значення властивостей і зв'язок між властивостями системи.

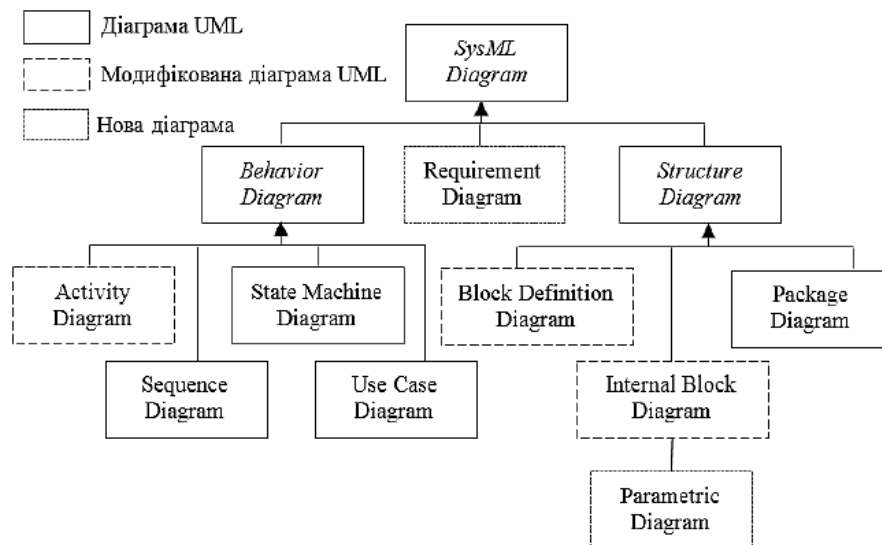


Рис. 1. SysML діаграми

Основою розробки ІСППР якості продукції є вимоги, що висувуються до майбутньої системи, яка пов'язана із моніторингом та прогнозуванням технологічного процесу. Для цього у SysML визначена діаграма вимог (requirement diagram), яка формує загальні вимоги до системи і показана на рис. 2. Основною вимогою виступає власне розробка інформаційної системи моніторингу та прогнозування процесу збивання вершків у масло, яка б забезпечувала підтримку прийняття рішень в ході технологічного процесу, попередження та уникнення критичних ситуацій, прогнозування поведінки процесу.

Основна вимога містить дві декомпозиції: це власне методи моніторингу та прогнозування технологічного процесу. Впровадження методів моніторингу поведінки технологічного процесу повинно забезпечувати моніторинг технологічних параметрів в режимі реального часу, відображення виходу параметрів за контрольні межі. Це все уточнюється за допомогою зв'язку "derive" розрахунком кон-

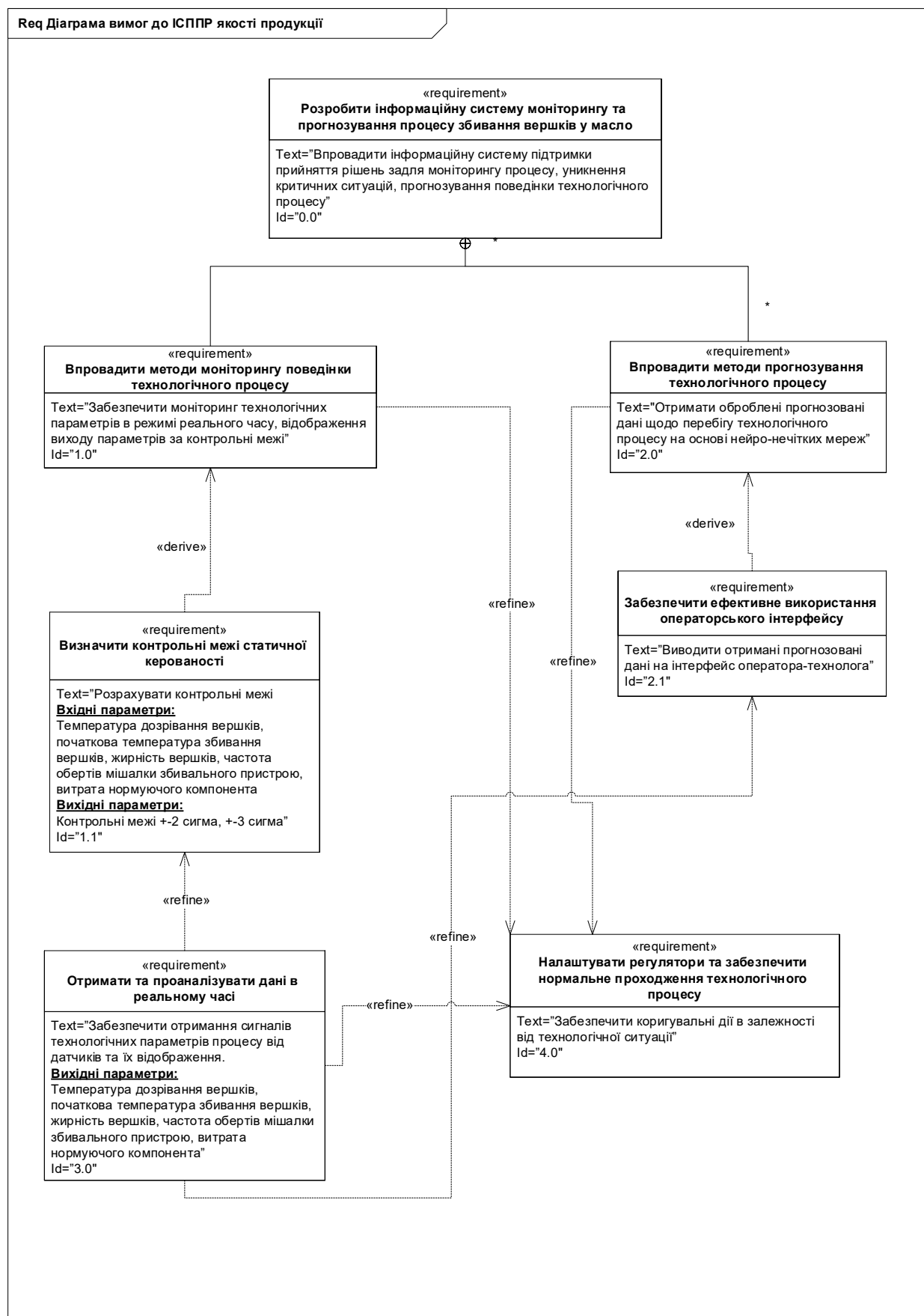


Рис. 2. Діаграма вимог до ІСППР якості продукції

трольних меж карт Шухарта на відстані $\pm 2\sigma$ та $\pm 3\sigma$ відповідних технологічних параметрів процесу збивання вершків у масло, що сповіщають оператора-технолога про можливі нештатні ситуації. Дана вимога уточнюється за допомогою зв'язку "refine" щодо забезпечення отримання сигналів технологічних параметрів процесу від датчиків та їх відображення. Впровадження методів прогнозування технологічного процесу націлено на забезпечення отримання оброблених прогнозованих даних про можливий перебіг технологічного процесу на основі нейро-нечітких мереж. Дана вимога уточнюється зв'язком "derive" забезпеченням ефективного використання операторського інтерфейсу. Крім того, вимоги мають додаткове уточнення через зв'язок "refine" щодо налаштування регуляторів та забезпечення нормального проходження технологічного процесу, внесення коригувальних дій в залежності від технологічної ситуації.

Діаграма послідовності (sequence diagram) є популярним рішенням для динамічного моделювання. Діаграма описує задіяні етапи та послідовність повідомлень, яким вони обмінюються, необхідні для їх виконання. Вона використана для відображення етапів створення та впровадження ІСППР якості продукції, що організовані у часовій послідовності та має дві осі (рис. 3): вертикальна представляє час, а горизонтальна – об'єкти *Проект ІСППР*, *Налаштування системи та регуляторів*, *Розробка ІСППР*, *Запуск ІСППР*, *Робочий цикл ІСППР*. Взаємодія між об'єктами здійснюється через повідомлення (message), які містять інформацію про виконуючу дію. Кожне повідомлення представляється у вигляді суцільної лінії зі стрілкою на кінці, яка проводиться від лінії життя одного об'єкта до лінії життя іншого.

Так надходить сигнал від етапу *Проект ІСППР* до *Розробка ІСППР* про обробку даних, які будуть задіяні в інформаційній системі. У зворотному напрямку надходить повідомлення про визначення експе-

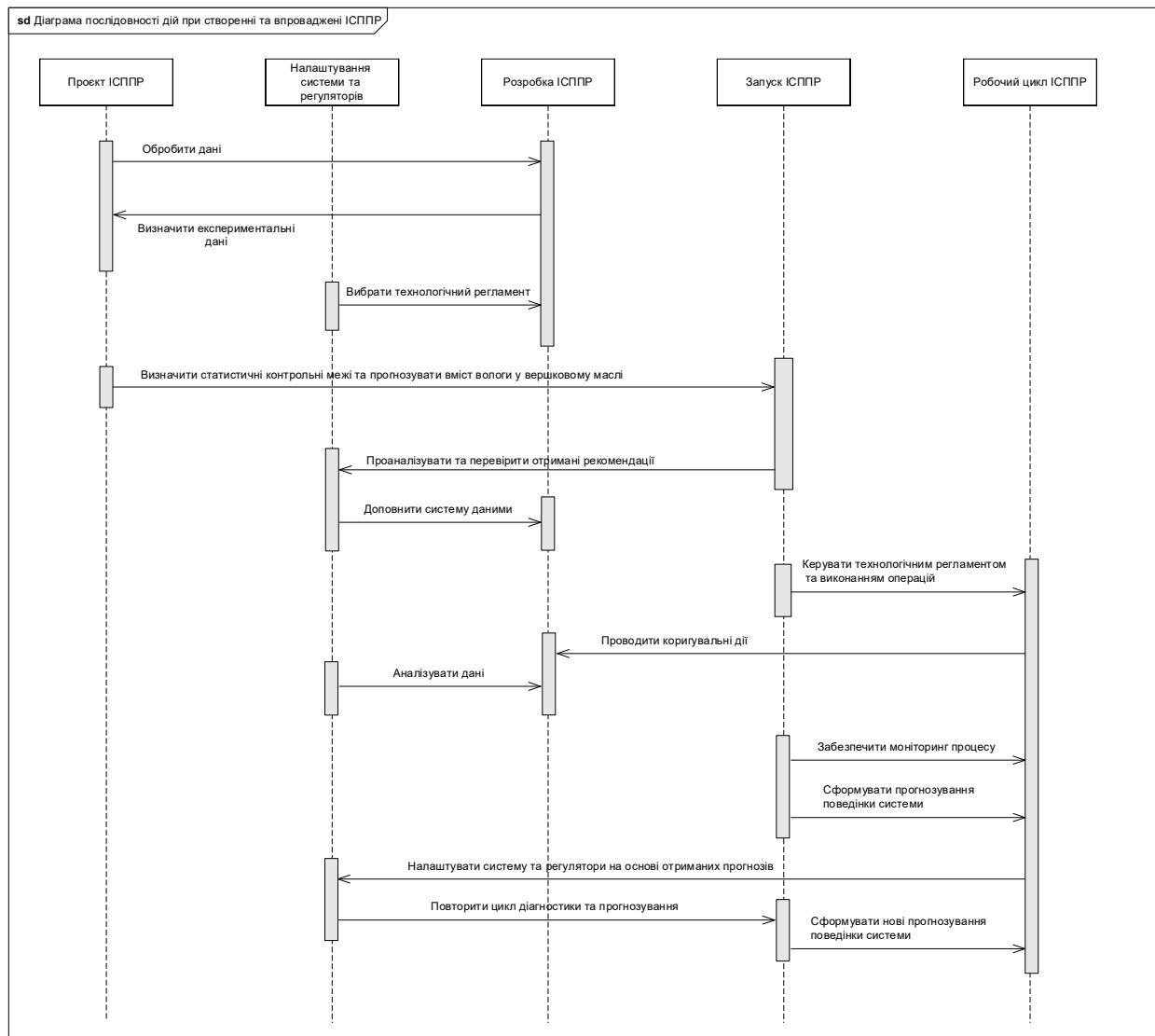


Рис. 3. Діаграма послідовності дій при створенні та впровадженні ІСППР

риментальних даних, на основі яких буде будуватися, перевірятися та тестуватися система підтримки прийняття рішень. Також, на етап *Розробка ІСППР* надходить повідомлення від етапу *Налаштування системи та регуляторів* про вибір технологічного регламенту, адже вершкове масло має різний вміст вологи і відповідний йому регламент. Аналогічно відбувається обмін повідомленнями з іншими об'єктами діаграми послідовності.

Наступним не менш важливим етапом при створенні ІСППР виробництва вершкового масла є відображення послідовності дій, які виникають між системами різних рівнів виробництва, так як сигнали керуючих дій надходять на регулюючі органи та виконавчі механізми. Для діаграми послідовності функціонування ІСППР якості продукції, яка представлена на рис. 4, об'єктами є *РО, ВМ, Датчики, ПЛК (промисловий логічний контролер), Оператор-технолог, ІСППР*. Вся інформація про хід технологічного процесу, власне процесу збивання вершків у масло, отримується за допомогою *Датчиків*, які передають інформацію до *ПЛК*. У свою чергу від об'єкта *ПЛК* до *Оператора-технолога* надходить повідомлення про обробку та передачу інформації. Надалі об'єкт *ІСППР* отримує повідомлення про передачу та візуалізацію інформації від *Оператора-технолога*.

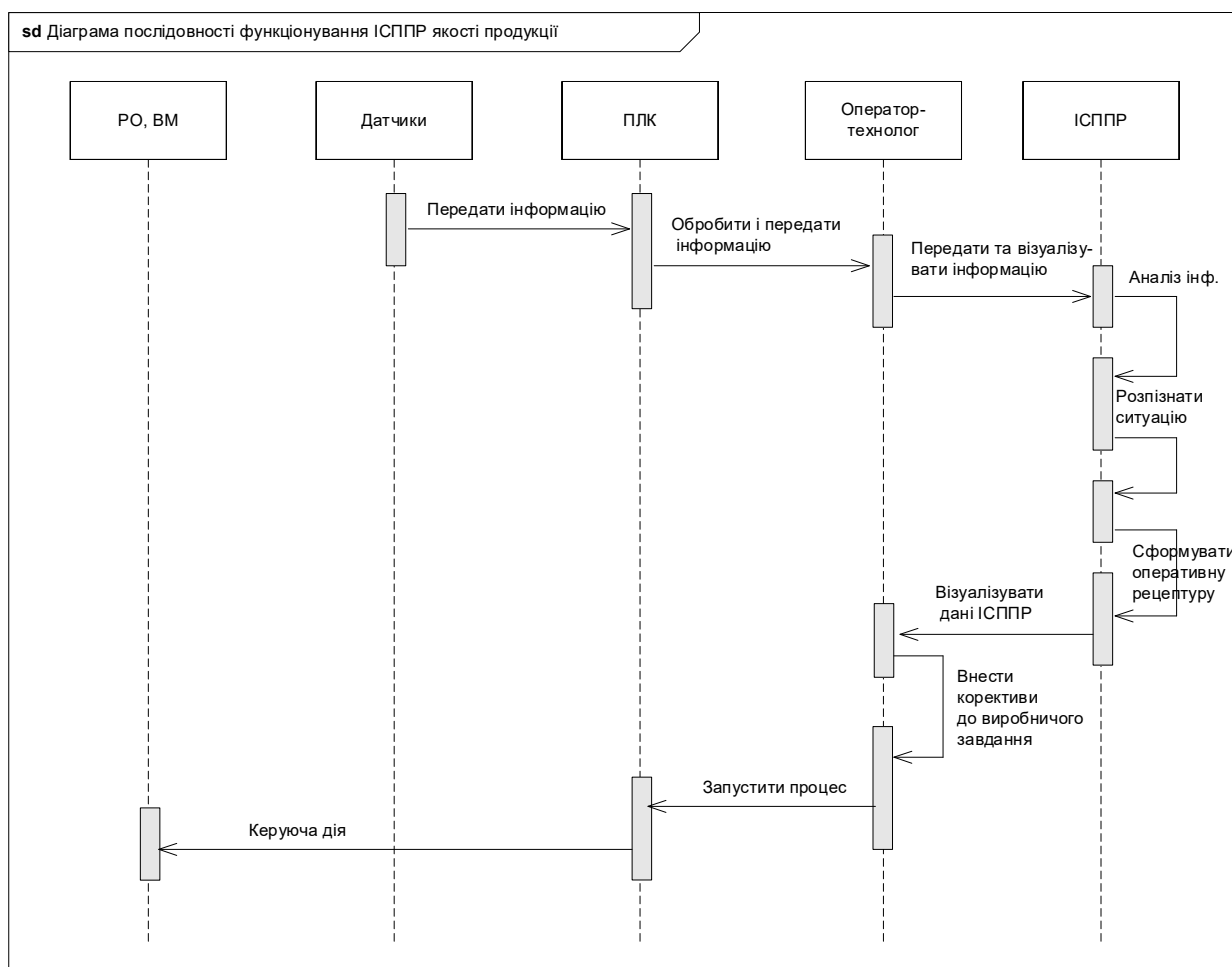


Рис. 4. Діаграма послідовності функціонування ІСППР якості продукції

Об'єкт *ІСППР* отримує повідомлення на виконання таких дій як: аналіз інформації, розпізнавання ситуації, формування оперативної рецептури. Аналогічно відбувається обмін повідомленнями між іншими об'єктами системи.

Отже, вище наведені діаграми дозволяють представити складний процес створення інформаційної системи підтримки прийняття рішень та її взаємодію із різними складовими частинами та етапами.

Висновки. Як було висвітлено у статті, існує проблема щодо сучасних стандартів при проектуванні інформаційних систем підтримки прийняття рішень для технологічних процесів. Було показано доцільність використання методології системної інженерії SysML на основі стандартних діаграм. Розроблена діаграма вимог демонструє взаємозв'язки та взаємовпливи до загальних та уточнюючих вимог при проектуванні інформаційної системи підтримки прийняття рішень якості продукції, а саме процесу збиван-

ня вершків у масло неперервним методом. Діаграми послідовностей використовуються головним чином для того, щоб показати взаємодію між різними об'єктами в послідовному порядку передачі інформації, в якому відбувається ця взаємодія. Розроблені діаграми дозволяють полегшити інтегрування інформаційної системи підтримки прийняття рішень в підсистему автоматизованого управління технологічним процесом для забезпечення належного функціонування в режимі реального часу, мати зв'язок із системою автоматизації нижнього рівня та системами верхнього рівня диспетчеризації, та базою даних.

Список використаних джерел:

1. Луцька Н. М., Власенко Л. О., Ладанюк А. П. Проєктування інтелектуальних автоматизованих систем керування технологічними процесами харчових виробництв засобами SysML. Частина 1: Огляд діаграм SysML, розробка діаграм вимог. *Наукові праці НУХТ*. 2021. Том 23, № 3. С. 15–24. <https://nuft.edu.ua/doi/doc/swnuft/2021/3/4>
2. Korobiichuk I., Ladanyuk A., Vlasenko L., Zaiets N. *Modern Development Technologies and Investigation of Food Production Technological Complex Automated Systems*, Proceedings of 2-nd International Conference on Mechatronics Systems and Control Engineering ICMSCE 2018. Amsterdam, Netherlands., 2018. P. 52–56. doi.org/10.1145/3185066.3185075
3. Ruan D., Chen G., Kerre E. E., Wets E. *Intelligent data mining: techniques and applications*. 1 ed. Heidelberg: Springer, 2005. 523 p.
4. Yue C., Jing Xu, Yusheng L., Xiaoping Ye, Jianjun Z. Automated generation of control logic from system design based on SysML and the IEC 61499 Function Block. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*. 2019. Vol. 233 (14). P. 2547–2565.
5. Hoffmann H. Harmony SE: a SysML based systems engineering process. In: *Innovation 2008 Telelogic user group conference*, Austin, TX, 26–29 October 2008, Malmo : Telelogic. P. 1–25.
6. Tim W. *Systems engineering with SysML/UML: modeling, analysis, design*. Burlington, MA : Morgan Kaufmann, 2008. 320 p.
7. Batchkova I., Antonova I. Improving the software development life cycle in process control using UML/SysML. *IFAC Proceedings Volumes*. 2011. Vol. 44 (3). P. 14133–14138. <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.03190>
8. Barbieri G., Kernschmidt K., Fantuzzi C., Vogel-Heuser B. A SysML based design pattern for the high-level development of mechatronic systems to enhance reusability. *IFAC Proceedings Volumes*. 2014. Vol. 47 (3). P. 3431–3437. doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.00615
9. Yue Cao, Yusheng Liu, Christiaan J. J. Predis. System-level model integration of design and simulation for mechatronic systems based on SysML. *Mechatronics*. Vol. 21 (3). 2011. P. 1063–1075. <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2011.05.003>
10. Sakairi T., Palachi E., Cohen C., Hatsutori Y., Shimizu J., Miyashita H. Designing a control system using SysML and Simulink. 2012 Proceedings of SICE Annual Conference (SICE), 2012. Akita, Japan. P. 2011–2017.

References:

1. Lutska, N., Vlasenko, L., & Ladanyuk, A. (2021). Proiektuvannia intelektualnykh avtomatyzovanykh system keruvannia tekhnolohichnykh protsesamy kharchovykh vyrobnytstv zasobamy SysML. Chastyna 1: Ohliad diahram SysML, rozrobka diahram vymoh. [Design of intelligent automated control systems for technological processes of food production by SysML means. Part 1: overview of sysml diagrams, development of requirement diagrams]. *Scientific Works of NUFT*, 27 (3), 15–24. Retrieved from: <https://nuft.edu.ua/doi/doc/swnuft/2021/3/4> [in Ukrainian]
2. Korobiichuk, I., Ladanyuk, A., Vlasenko, L., & Zaiets, N. (2018). Modern Development Technologies and Investigation of Food Production Technological Complex Automated Systems, *Proceedings of 2-nd International Conference on Mechatronics Systems and Control Engineering ICMSCE*. (pp. 52–56). Amsterdam, Netherlands. Retrieved from: doi.org/10.1145/3185066.3185075
3. Ruan, D., Chen, G., Kerre, E. E., & Wets, E. (2005). *Intelligent data mining: techniques and applications*. 1 ed. Heidelberg : Springer.
4. Yue, Cao, Jing, Xu, Yusheng, L., Xiaoping, Ye., & Jianjun, Z. (2019). Automated generation of control logic from system design based on SysML and the IEC 61499 Function Block. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 233 (14), 2547–2565.
5. Hoffmann, H. (2008). Harmony SE: a SysML based systems engineering process. In: *Innovation 2008 Telelogic user group conference*. (pp. 1–25). Austin, TX, Malmo : Telelogic.
6. Tim, W. (2008). *Systems engineering with SysML/UML: modeling, analysis, design*. Burlington, MA : Morgan Kaufmann.
7. Batchkova, I., & Antonova, I. (2011). Improving the software development life cycle in process control using UML/SysML. *IFAC Proceedings Volumes*, 44 (3), 14133–14138. Retrieved from: <https://doi.org/10.3182/20110828-6-IT-1002.03190>
8. Barbieri, G., Kernschmidt, K., Fantuzzi, C., & Vogel-Heuser, B. (2014). A SysML based design pattern for the high-level development of mechatronic systems to enhance reusability. *IFAC Proceedings Volumes*, 47 (3), 3431–3437. Retrieved from: doi.org/10.3182/20140824-6-ZA-1003.00615
9. Yue, Cao, Yusheng, Liu, & Christiaan J. J. Predis. (2011). System-level model integration of design and simulation for mechatronic systems based on SysML. *Mechatronics*, 21 (3), 1063–1075. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2011.05.003>
10. Sakairi, T., Palachi, E., Cohen, C., Hatsutori, Y., Shimizu, J., & Miyashita, H. (2012). Designing a control system using SysML and Simulink. 2012 Proceedings of SICE Annual Conference (SICE), (pp. 2011–2017). Akita, Japan.

УДК 004.8

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.9>**Антон МАЛЬЦЕВ**

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри математичних методів системного аналізу, Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», просп. Перемоги 37, Київ, Україна, індекс 03056 (ayumaltsev@gmail.com)

Anton MALTSEV

PhD, Associate Professor at the Department of Mathematical Methods of System Analysis (MMSA), National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Peremohy Avenue, Kyiv, Ukraine, postal code 03056 (ayumaltsev@gmail.com)

Бібліографічний опис статті: Мальцев, А. (2022). Аналіз сучасних досягнень у галузі штучних нейронних мереж, машинного навчання та обчислювального інтелекту. *Інформаційні технології та суспільство*, 2 (4), 65–69. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.9>

Bibliographic description of the article: Maltsev, A. (2022). Analiz suchasnykh dosiahnen v haluzi shtuchnykh neironnykh merezh, mashynnoho navchannia ta obchysliuvalnoho intelektu [Analysis of modern achievements in the field of artificial neural networks, machine learning and computational intelligence]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information technology and society*, 2 (4), 65–69. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.9>

**АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ДОСЯГНЕНЬ У ГАЛУЗІ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ,
МАШИННОГО НАВЧАННЯ ТА ОБЧИСЛЮВАЛЬНОГО ІНТЕЛЕКТУ**

Мета – здійснити аналіз сучасних досягнень у галузі штучних нейронних мереж, машинного навчання та обчислювального інтелекту.

Методологія: структуризація сучасних досягнень у галузі штучних нейронних мереж, машинного навчання та обчислювального інтелекту; аналіз динаміки наукових публікацій за темою дослідження.

Наукова новизна. У статті вперше структуровано аналіз сучасних досягнень у галузі штучних нейронних мереж, машинного навчання та обчислювального інтелекту. Наголошено, що штучна нейронна мережа являє собою один зі способів реалізації штучного обчислювального інтелекту, у межах становлення якого є велика сфера – машинне навчання, яке є його основою. Здійснено структуризацію положення штучних нейронних мереж, машинного навчання та обчислювального інтелекту. Охарактеризовано сфери застосування розробок у галузі штучних нейронних мереж, машинного навчання та обчислювального інтелекту: у медичній сфері розроблено дієвий алгоритм машинного навчання, метою якого є оцінка ступеня ризику серцево-судинних захворювань пацієнтів; у фінансовій сфері машинне навчання дозволяє виявити потенційні випадки шахрайства у різних сферах життя; електронна комерція запроваджує основні механізми машинного навчання як методологію передбачення впливу акцій на обсяг продажу товарів; як природну мову для створення чат-ботів, які б допомогли клієнтам отримати необхідну інформацію про продукти компанії; транспортна інфраструктура впроваджує концепт, що спирається на нейронні мережі, в яких штучний інтелект відповідає за розпізнавання навколишніх об'єктів, таких як сторонній автомобіль, пішохід, перешкода на шляху тощо; промисловість застосовує штучні нейронні мережі з метою розробки синтетичних молекул, регулювання складу та параметрів металу у разі його виплавки, те ж стосується і робіт з виплавки скла та виробів, що у своєму складі мають комплекс компонентів. У табличній формі представлено сучасні досягнення в галузі штучних нейронних мереж, машинного навчання та обчислювального інтелекту за 2020–2021 роки.

Висновки. У роботі здійснено аналіз сучасних досягнень у галузі штучних нейронних мереж, машинного навчання та обчислювального інтелекту, в основі чого лежить перцептрон як кібернетична модель сприйняття інформації мозком.

Ключові слова: штучна нейронна мережа, машинне навчання, обчислювальний інтелект, досягнення, наука, розробка, галузь.

**ANALYSIS OF MODERN ACHIEVEMENTS IN THE FIELD OF ARTIFICIAL NEURAL NETWORKS,
MACHINE LEARNING AND COMPUTATIONAL INTELLIGENCE**

Objective is to analyze current advances in artificial neural networks, machine learning and computational intelligence.

Methodology: structuring modern advances in artificial neural networks, machine learning and computational intelligence; analysis of the dynamics of scientific publications on the research topic.

Scientific novelty. The article for the first time structures the analysis of modern achievements in the field of artificial neural networks, machine learning and computational intelligence. It is emphasized that the artificial neural network is one of the ways to implement artificial computational intelligence, within the formation of which there is a large area – machine learning, which is its basis. The positioning of artificial neural networks, machine learning and computational intelligence has been structured. The spheres of application of developments in the field of artificial neural networks, machine learning and

computational intelligence are described: in the medical field an effective machine learning algorithm has been developed to assess the degree of risk of cardiovascular diseases in patients; in the financial sphere, machine learning allows to detect potential cases of fraud in various spheres of life; e-commerce introduces the basic mechanisms of machine learning as a methodology to predict the impact of shares on sales; as a natural language for creating chatbots that would help customers get the necessary information about the company's products; transport infrastructure implements a concept based on neural networks, in which artificial intelligence is responsible for recognizing surrounding objects such as a foreign car, pedestrian, roadblock, etc. The industry uses artificial neural networks to develop synthetic molecules, regulate the composition and parameters of the metal during its smelting, the same applies to work on the smelting of glass and products that contain a complex of components. The tabular form presents current achievements in the field of artificial neural networks, machine learning and computational intelligence for 2020–2021.

Conclusions. The paper analyzes the current achievements in the field of artificial neural networks, machine learning and computational intelligence, which is based on the perceptron as a cybernetic model of information perception by the brain.

Key words: artificial neural network, machine learning, computational intelligence, achievements, science, development, industry.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Темпи розвитку машинного навчання та штучного інтелекту за межами конкретних математичних методів оптимізації, обробки та аналізу даних вражають. Дослідження принципів використання, комбінування та вибору конкретних моделей та методів машинного навчання покладено в основу сучасних досліджень багатьох учених. Проблематикою становлення розуміння сфери машинного навчання та штучного обчислювального інтелекту є величезна кількість розрізнених методів, кожен з яких має свої особливості, сферу використання та переваги. З огляду на масштабність математичних та алгоритмічних методів стає все важче орієнтуватися у всіх нюансах застосовуваних алгоритмів. Проблема є той факт, що методологічна база значно відстає від швидкого процесу розробки нових алгоритмів навчання, і процес вибору моделі, що навчається, часом зводиться до простого перебору.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Упродовж останніх років оприлюднено низку праць, у яких досліджуються основні аспекти штучного нейронного інтелекту, його розвиток, становлення та інноваційні відкриття.

Ю. Хома та А. Бенч [1] здійснили порівняльний аналіз спеціалізованих програмних та апаратних засобів для алгоритмів глибокого навчання. С. Денежников [2] підійшов до вирішення питання трансгуманістичних перспектив розвитку штучного інтелекту. М. Угрюмов, С. Черниш, В. Стрілець та Є. Меньяйлов [3] сформулювали постановку багатокритеріальних завдань, що параметрично оптимізуються та приймаються у розрахунках нерівнозначності вхідних даних. Способи використання нейронних мереж та машинного навчання в комп'ютерних іграх дослідив К. Сеніва [4]. Науковцем підкреслено, що ремастерінг і модифікації ігор нейронними мережами стали новим трендом. О. Григоров, Г. Аніщенко, В. Стрижак, Н. Петренко, О. Турчин, А. Окунь та О. Пономарьов [5] розкрили генезис машинного навчання (machine learning) та штучного інтелекту (artificial intelligence), ці розділи являють собою необхідні умови Індустрії 4.0 (Industry 4.0).

Із зарубіжних авторів варто відзначити роботи таких науковців, як: Amer Mohammed [6], K. R. Padma & K. R. Don [7], Mangini Stefano & Tacchino Francesco & D. Gerace & D. Bajoni & C. Macchiavello [8], Mangini Stefano & Tacchino Francesco & Gerace Dario & Bajoni Daniele & Macchiavello Chiara [9] та інші.

Проте з огляду на описані наукові набуток за темою питання аналізу сучасних досягнень у галузі штучних нейронних мереж, машинного навчання та обчислювального інтелекту залишається відкритим та потребує детального опрацювання.

Формулювання мети статті – здійснити аналіз сучасних досягнень у галузі штучних нейронних мереж, машинного навчання та обчислювального інтелекту.

Виклад основного матеріалу дослідження. Основна частина наукових досліджень у сфері штучного обчислювального інтелекту ґрунтується на глибокому навчанні, сюди варто віднести автомобілі на безпілотному керуванні, робототехніку, медичні застосування засновані на інтелекті. Однак багато сучасних учених стверджують, що глибоке машинне навчання має вичерпні ресурси та у найближчому часі відкриє місце більш інноваційним методам. Аналіз наукових досягнень у мережі Інтернет, а саме на arXiv¹, вказує на період виникнення перших робіт у галузі штучних нейронних мереж, машинного навчання та обчислювального інтелекту датованих 1993 роком. Далі з кожним наступним роком простежувалась тенденція до збільшення, піковою точкою став 2021 рік (рисунок 1).

Починаючи з 2000 року більшість учених напрям своєї роботи спрямували на вивчення та розробку методів навчання штучних нейронних мереж. Так, було запропоновано Байєсовські мережі, Марковські мережі, метод опорних векторів, еволюційні алгоритми тощо (рисунок 2).

¹ <https://uk.wikipedia.org/wiki/ArXiv.org>

Однією з найбільш впливових розробок стало розкриття принципів навчання штучних нейронних мереж за допомогою вчителя, без вчителя та навчання з підкріпленням. Аналізуючи досягнення за сферою та за роками, варто підкреслити, що кожне інноваційне відкриття відразу привертало увагу великої частки науковців, та кількість розробок за такою сферою стрімко збільшувалася. Так, розробки у сфері штучних нейронних мереж були на піку популярності у 1960-х роках та з новою силою привернули до себе увагу у 2010-х.

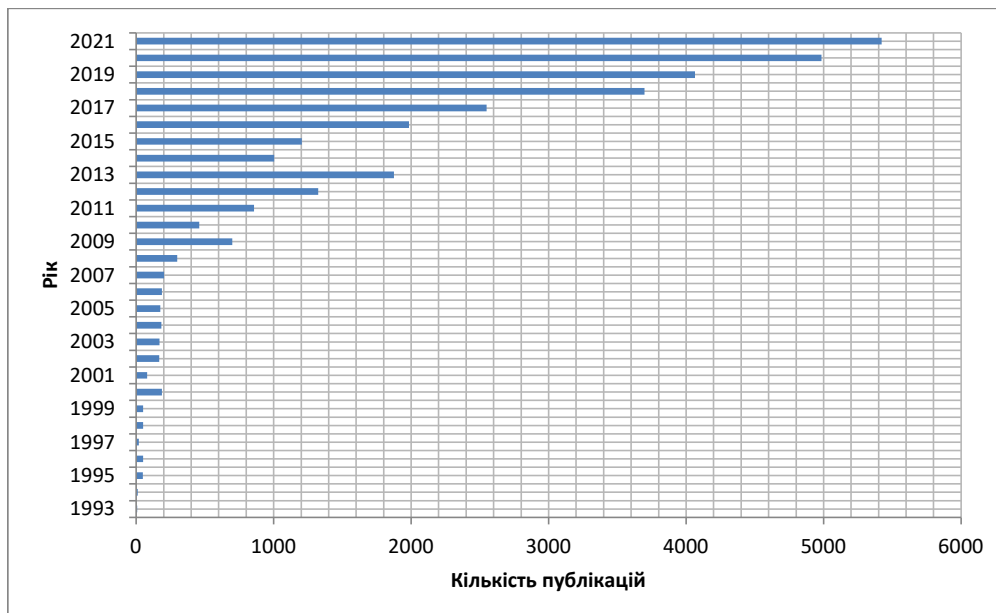


Рис. 1. Динаміка наукових публікацій у галузі штучних нейронних мереж, машинного навчання та обчислювального інтелекту

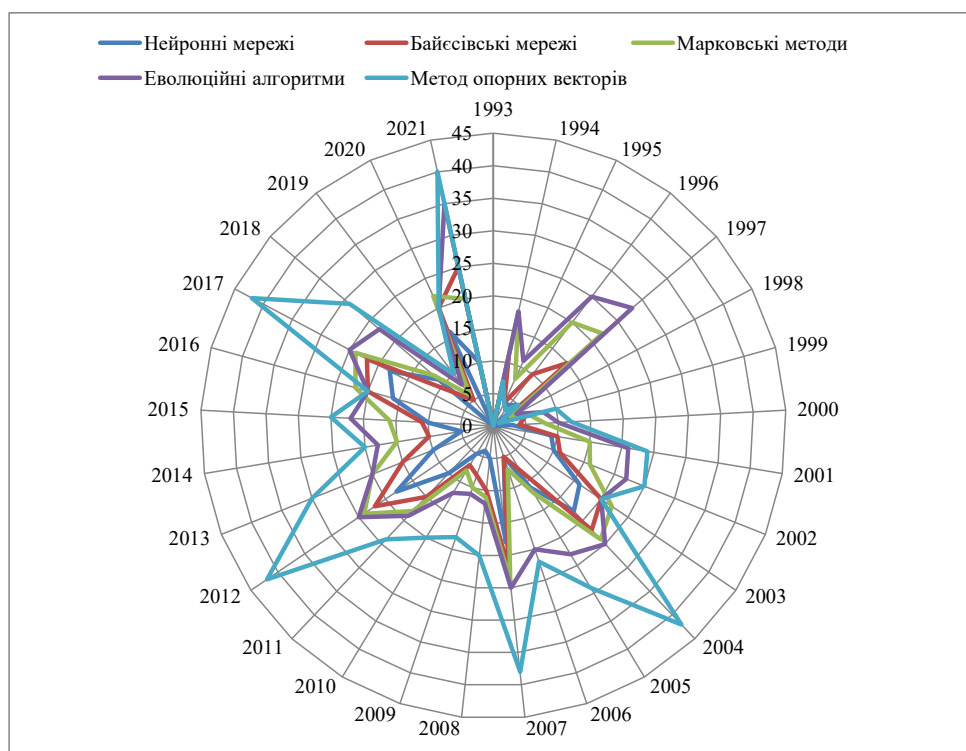


Рис. 2. Динаміка реалізації напрацювань у сфері штучних нейронних мереж

За сферами застосування розробок у галузі штучних нейронних мереж, машинного навчання та обчислювального інтелекту варто наголосити на широкому спектрі застосувань. У медичній сфері розро-

блено дієвий алгоритм машинного навчання, метою якого є оцінка ступеня ризику серцево-судинних захворювань пацієнтів.

Фінансова сфера також має досягнення з впровадження штучного інтелекту. Так, машинне навчання дозволяє виявити потенційні випадки шахрайства у різних сферах життя. Електронна комерція запроваджує основні механізми машинного навчання як методологію передбачення впливу акцій на обсяг продажу товарів; як природну мову для створення чат-ботів, які б допомогли клієнтам отримати необхідну інформацію про продукти компанії.

Таблиця 1

Сучасні досягнення в галузі штучних нейронних мереж, машинного навчання та обчислювального інтелекту за 2020–2021 роки

№	Назва	Розробник	Країна	Галузь	Сфера застосування
1	MegEngine	Megvii Technology	Китай	Машинне навчання	Комп'ютерний зір
2	Keras 2.4.0	Франсуа Шолле	США	Нейронні мережі	Глибинно-нейромережні моделі
3	MindSpore	Huawei Technologies	Китай	Глибоке навчання	Обробка природної мови
4	IBM Deep Learning CogMol	CogMol від IBM	США	Обчислювальний інтелект	Медицина
5	NeoML	ABBYY	Німеччина	Машинне навчання	Комп'ютерний зір, попередня обробка зображень, класифікація
6	FINDER	UCLA+ HMS	США, Лос-Анджелес	Глибоке навчання	Пошук ключових гравців у мережах через глибоке навчання із підкріпленням
7	Dive into Deep Learning	Amazon	США, Вашингтон	Глибоке навчання	Навчання
8	Novator	TU Wien + IST Austria та MIT	Вена + США	Штучний обчислювальний інтелект	Транспорт
9	MIScnn	Гвідован Россум	Харлем, Нідерланди	Штучний обчислювальний інтелект	Медицина
10	TensorFlow 2.3	Команда Google Brain	Маунтін-В'ю, Каліфорнія, США	Машинне навчання	Навчання та вивід глибоких нейронних мереж
11	PyTorch 1.7.0	Адам Пашке Сем Гросс Чисумує Чинтала Грегори Чанан	Каліфорнія, США	Глибоке навчання	Розподілене навчання на основі паралельних розподілених даних

Таким чином, здійснивши широкий огляд сучасних досягнень у галузі штучних нейронних мереж, машинного навчання та обчислювального інтелекту, варто наголосити на їх всебічності та всеосяжності, на широкому спектрі сфер застосувань та глибокій зацікавленості зі сторони науковців, як практиків, так і теоретиків.

Висновки з цього дослідження і перспективи подальших розвідок у такому напрямі. У роботі здійснено аналіз сучасних досягнень у галузі штучних нейронних мереж, машинного навчання та обчислювального інтелекту, в основі чого лежить перцептрон як кібернетична модель сприйняття інформації мозком. Структура формується на базі датчиків, тобто рецепторів, які приймають сигнали із зовнішнього середовища, елементи асоціативних правил активуються, одержуючи сигнали від певного набору рецепторів, а елемент, який відповідає за отриману інформацію, формує відповідь на основі сигналів від елементів асоціативних правил.

Перспективами подальшої роботи є дослідження питання прогнозування з використанням класичних і нейромережових методів машинного навчання.

Список використаних джерел:

1. Хома Ю. В., Бенч А. Я. Порівняльний аналіз спеціалізованих програмних та апаратних засобів для алгоритмів глибокого навчання. *Комп'ютерні системи і мережі*. 2019. Т. 1. № 1. С. 97–102.
2. Денежніков С. С. Трансгуманістичні перспективи розвитку штучного інтелекту. *Філософія науки: традиції та інновації*. 2018. № 1 (17). С. 118–127.
3. Методи машинного навчання у задачах системного аналізу і прийняття рішень / М. Угрюмов та ін. *Методи машинного навчання у багатокритеріальних задачах надійного оптимального проектування та інтелектуальної діагностики систем (ROD & IDS) в умовах невизначеності*. Харків : Харківський національний університет імені В. М. Каразіна, 2019. 195 с.
4. Сеніва К. Р. Способи використання нейронних мереж та машинного навчання в комп'ютерних іграх. *Вісник Хмельницького національного університету*. Хмельницький, 2021. № 2 (295). С. 97–99. DOI: 10.31891/2307-5732-2021-295-2-97-100
5. Artificial intelligence. Machine learning / О. В. Григоров та ін. *Vehicle and Electronics. Innovative Technologies*. 2019, Vol. 15, p. 17. URL: <http://veit.khadi.kharkov.ua/article/view/169289> (дата звернення: 17.04.2022).
6. Amer M. E. M. Modularity in artificial neural networks : Doctoral dissertation, University of Nottingham. 2021. URL: https://www.researchgate.net/publication/353702457_Modularity_in_artificial_neural_networks (дата звернення: 17.04.2022).
7. Padma K. R., Don K. R. Artificial Neural Network Applications in Analysis of Forensic Science. *Cyber Security and Digital Forensics*. 2022. P. 59–72. DOI: 10.1002/9781119795667.ch3
8. Quantum computing models for artificial neural networks / S. Mangini et al. *EPL (Europhysics Letters)*. 2021. Vol. 134, No. 1. P. 10002. URL: <https://doi.org/10.1209/0295-5075/134/10002> (дата звернення: 17.04.2022).
9. Olvera J. D. D. R., Gómez-Vargas I., & Vázquez J. A. Observational cosmology with Artificial Neural Networks. 2021. *arXiv preprint arXiv:2112.12645*. URL: https://www.researchgate.net/publication/357301768_Observational_cosmology_with_Artificial_Neural_Networks (дата звернення: 17.04.2022).

References:

1. Khoma, Yu. V., Bench, A. Ya. (2019). Porivniialnyi analiz spetsializovanykh prohramnykh ta aparatnykh zasobiv dlia alhorytmiv hlybokoho navchannia [Comparative analysis of the specialized software and hardware for deep learning algorithms]. *Kompiuterni systemy i merezhi – Computer systems and networks*, 1, 1, 97–102. [in Ukrainian]
2. Denezhnikov, S. S. (2018). Transhumanistychni perspektyvy rozvytku shtuchnoho intelektu [Transhumanist perspectives on the development of artificial intelligence]. *Filosofia nauky: tradytsii ta innovatsii – Philosophy of science: traditions and innovations*, 1 (17), 118–127. [in Ukrainian]
3. Ugrumov, M., Chernysh, S., Strilets, V., Menailov, Ye. Metody mashynnoho navchannia u zadachakh systemnoho analizu i pryiniattia rishen [Methods of machine learning in the problems of system analysis and decision making]. *Metody mashynnoho navchannia u bahatokryterialnykh zadachakh nadiinoho optymalnoho proektuvannia ta intelektualnoi diahnostryky system (ROD & IDS) v umovakh nevyznachenosti – Methods of machine learning in multicriteria problems of reliable optimal design and intelligent diagnostics of systems (ROD & IDS) in conditions of uncertainty*. Kharkiv : Kharkiv National University named after V. M. Karazin. [in Ukrainian]
4. Seniva, K. R. (2021). Sposoby vykorystannia neironnykh merezh ta mashynnoho navchannia v kompiuternykh ihrakh [Ways to use neural networks and machine learning in computer games]. *Visnyk Khmelnytskoho natsionalnoho universytetu – Bulletin of Khmelnytsky National University*, 2 (295), 97–99. [in Ukrainian]
5. Hryhorov, O. V., Anishchenko, H. O., Stryzhak, V. V., Petrenko, N. O., Turchyn, O. V., Okun, A. O., & Ponomarov, O. E. (2019). Artificial intelligence. Machine learning. *Vehicle and Electronics. Innovative Technologies*, (15), 17. Retrieved from: <http://veit.khadi.kharkov.ua/article/view/169289>
6. Amer, M. E. M. (2021). *Modularity in artificial neural networks* (Doctoral dissertation, University of Nottingham). Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/353702457_Modularity_in_artificial_neural_networks
7. Padma, K. R., & Don, K. R. (2022). Artificial Neural Network Applications in Analysis of Forensic Science. *Cyber Security and Digital Forensics*, 59–72. DOI: 10.1002/9781119795667.ch3
8. Mangini, S., Tacchino, F., Gerace, D., Bajoni, D., & Macchiavello, C. (2021). Quantum computing models for artificial neural networks. *EPL (Europhysics Letters)*, 134 (1), 10002. Retrieved from: <https://doi.org/10.1209/0295-5075/134/10002>
9. Olvera, J. D. D. R., Gómez-Vargas, I., & Vázquez, J. A. (2021). Observational cosmology with Artificial Neural Networks. *arXiv preprint arXiv:2112.12645*. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/357301768_Observational_cosmology_with_Artificial_Neural_Networks

УДК 004.4 378:005.6

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.10>

Олександр НЕСТЕРЕНКО

доктор технічних наук, доцент, старший дослідник, завідувач кафедри інформаційних технологій, Міжнародний європейський університет, просп. Академіка Глушкова, 42, м. Київ, Україна, індекс 03127 (oleksandr_nesterenko@ieu.edu.ua)

ORCID: 0000-0001-5329-889X

Світлана ПРОСКУРА

викладач кафедри інформаційних технологій, Міжнародний європейський університет, просп. Академіка Глушкова, 42, м. Київ, Україна, індекс 03127 (svitlana_proskura@ieu.edu.ua)

ORCID: 0000-0002-9536-176X

Oleksandr NESTERENKO

Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Head of the Department of Information Technology, International European University, 42 Akademika Glushkova Avenue, Kyiv, Ukraine, postal code 03127 (oleksandr_nesterenko@ieu.edu.ua)

Svitlana PROSKURA

Teacher at the Department of Information Technology, International European University, 42 Akademika Glushkova Avenue, Kyiv, Ukraine, postal code 03127 (svitlana_proskura@ieu.edu.ua)

Бібліографічний опис статті: Нестеренко, О., Проскура, С. (2022). Порівняльний аналіз освітніх програм в галузі інженерії програмного забезпечення. *Інформаційні технології та суспільство*, 2 (4), 70–77. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.10>

Bibliographic description of the article: Nesterenko, O., Proskura, S. (2022). Porivnialnyi analiz osvitnikh prohram v haluzi inzhenerii prohramnoho zabezpechennia [Comparative analysis of educational programs in the field of software engineering]. *Informatsiini tekhnologii ta suspilstvo – Information technology and society*, 2 (4), 70–77. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.10>

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ОСВІТНІХ ПРОГРАМ В ГАЛУЗІ ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

Предметом статті є визначення інформаційно-методичного підходу до вдосконалення освітнього процесу в галузі програмної інженерії. Розгляд загальної проблеми показує, що не зважаючи на певний інтерес дослідників, на сьогоднішній день питання удосконалення освітніх процесів залишається важливим та до кінця не вирішеним, особливо що стосується підходів до оцінювання освітніх програм. **Мета роботи** – методологічна та інформаційна спрямованість на вирішенні актуальної проблеми підвищення якості освіти з програмної інженерії в новій реальності. В статті вирішуються такі **завдання**: провести аналіз освітніх програм з дисципліни «Інженерія програмного забезпечення», що реалізуються в провідних технічних університетах країни, розглянути результатів аналізу з точки зору пошуку шляхів вдосконалення освітніх програм. **Методологічною основою** дослідження є положення міжнародних керівництв щодо зводу знань з комп'ютерних наук та інженерії програмного забезпечення, зокрема парадигми Global Computing Education, якій відповідає останній реліз серії звітів Computing Curricula CC2020, а також методи порівняльного аналізу. Проведено порівняння тридцяти освітніх програм першого рівня освіти (бакалавр), прийнятих у передових технічних університетах України, зокрема щодо складу обов'язкових освітніх компонентів професійного циклу. У якості основних показників вибрано кількість кожної компоненти у вибірці освітніх програм та відповідність компонентів професійній практиці програмної інженерії. Для виявлення компонентів з високим рівнем конгруентності побудовано «магічний квадрант» за моделлю компанії Gartner. При проведенні аналізу коваріації змінних вибірки з'ясовано, що зв'язок між ознаками можна визначити як помірний. Цей ефект проілюстровано й наведеними діаграмами. **Наукова новизна** полягає у визначенні одного з підходів щодо експертного аналізу статистичних даних з метою пошуку нового знання для вдосконалення освітніх програм. За результатами проведеного дослідження можна зробити **висновок**, що розроблений підхід дозволяє забезпечувати постійний моніторинг освітніх програм з метою оцінювання їх відносної відповідності сучасним тенденціям та згенерувати можливі рішення щодо удосконалення програм.

Ключові слова: освітня програма, програмна інженерія, аналіз даних, якість освіти, освітні компоненти.

COMPARATIVE ANALYSIS OF EDUCATIONAL PROGRAMS IN THE FIELD OF SOFTWARE ENGINEERING

The subject of the article is to determine the information and methodological approach to improving the educational process in the field of software engineering. Consideration of the general problem shows that despite some interest of researchers, today the issue of improving educational processes remains important and unresolved, especially with regard to approaches to evaluating educational programs. **The purpose of the work** is methodological and informational focus on solving the current problem of improving the quality of education in software engineering in the new reality. The article solves the following **tasks**: to analyze the educational programs in the discipline of "Software Engineering", implemented in the leading technical universities of the country, to consider the results of the analysis in terms of finding ways to improve educational programs. **The methodological basis** of the study is the provisions of international guidelines on body of knowledge of computer science and software engineering, including the paradigm of Global Computing Education, which corresponds to the latest release of the Computing Curricula CC2020, as well as comparative analysis methods. A comparison of thirty educational programs of the first level education (bachelor), which adopted in the advanced technical universities of Ukraine, in particular on the composition of compulsory educational components of the professional cycle. The main indicators are the number of each component in the sample of educational programs and components compliance with software engineering professional practice. To identify components with a high level of congruence, a "magic quadrant" was built on the model of Gartner. An analysis of the covariance of sample variables found that the relationship between traits could be defined as moderate. This effect is illustrated by the given diagrams. **Scientific novelty** is to define one of the approaches to expert analysis of statistical data in order to find new knowledge to improve educational programs. Based on the results of the study, it can be **concluded** that the developed approach allows for continuous monitoring of educational programs in order to assess their relative compliance with current trends and generate possible solutions for improving programs.

Key words: educational program, software engineering, data analysis, quality of education, educational components.

Постановка проблеми. На сьогодні актуальною й вкрай важливою для економічного та гуманітарного розвитку нації, для поступу країни в європейський простір є проблема якості вищої освіти. Визначення поняття якості освіти постійно змінюється, враховуючи різноманітність і швидкоплинність мінливого ринку праці. Особливо це стосується корекції концептуальних підходів до розвитку освіти в галузі інформаційних технологій (ІТ), й винятково для програмної інженерії, адже програмне забезпечення у наш час цифрових трансформацій є основою технологічного розвитку. У даному випадку система вищої освіти стає стратегічною сферою формування професійних компетентностей майбутніх фахівців-програмістів, а адаптація численних освітніх програм зі спеціальності «інженерія програмного забезпечення» відповідно до світових рекомендацій та моделей сучасної освіти в галузі ІТ втримується як гостра потреба.

Незважаючи на беззаперечність визнання того, що вимірювання якості вищої освіти є проблематичним, не ідеальним, але водночас й невідхильним процесом є оцінювання розмаїття освітніх програм, що у численних ЗВО готуються для різних сфер та ставлять перед собою різні освітні місії. За 2021 рік у галузі знань 12 «Інформаційні технології» на усіх рівнях вищої освіти були прийняті рішення Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти щодо акредитації 158 освітніх програм, серед яких акредитовано 125 програм і жодної зразкової [4]. При цьому актуальним є питання формування експертного середовища оцінювання якості вищої освіти у відповідності до європейської практики, спрямованої на консультативне оцінювання, а також сприяння удосконаленню освітньої програми [1].

Отже назрілим є експертне порівняння освітніх програм з метою отримання нового знання щодо підходів до оцінювання якості вищої освіти з програмної інженерії та стратегічних напрямів можливо-го реформування навчальної діяльності у цій сфері у напрямку оновлення змісту і методів навчання.

Аналіз останніх досліджень і публікацій показує, що на сьогодні напрацьовано досить незначну кількість наукових доробок вітчизняних і зарубіжних авторів, присвячених розробці й удосконаленню освітніх процесів, зокрема в галузі ПІ. Виявлені роботи в основному приділяють уваги розробці окремих елементів чи вирішенню окремих питань вдосконалення ОП освітньої галузі ІТ в цілому та, іноді, зокрема ПІ. При цьому значна частина публікацій присвячується питанням аналізу існуючих програм з метою надання пропозицій щодо питань, на які слід акцентувати увагу в розвитку програм. Наприклад, в роботі [6] на основі систематичного оглядового дослідження виявлено топ-20 основних тем у навчальній програмі галузі програмної інженерії. У статті [2] на основі системного підходу розглянуто формування професійних компетентностей фахівців кваліфікаційного рівня «бакалавр» спеціальності «кібербезпека» на базі аналізованого переліку навчальних дисциплін. В роботі [12] проведено аналіз навчальних програм та системи знань з інформатики (зокрема тих, що стосуються інженерії програмного забезпечення), які пропонуються державними органами і стейкхолдерами та з'ясовано позиції кожної з вищезгаданих концепцій з точки зору вдосконалення освіти. В статті [5, с. 153], з посиланням на відповідні методичні рекомендації для експертів Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти, підкреслюється важливість формування обов'язкових компонентів програм: «результати навчання, що передбачені затвердженим стандартом вищої освіти, повинні забезпечуватись

вивченням обов'язкових дисциплін. ... Однак, якщо певні програмні результати забезпечуються суто за рахунок дисциплін вільного вибору здобувача вищої освіти, то це є недоліком одного з критеріїв оцінювання якості освітньої програми, а саме критерію щодо структури та змісту освітньої програми».

Низка статей приділяють увагу порівняльному підходу. У статті [3] наведено порівняльний аналіз окремих обов'язкових дисциплін освітньо-професійної програми «Інформатика» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти галузі знань 12 «Інформаційні технології», спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» з дисциплінами ОПП того ж рівня та спеціальності інших закладів вищої освіти щодо забезпечуваних (досяжних) ними стандартних результатів навчання. У [7] порівнюються подібні навчальні програми, що існують у чотирьох державних університетах Боснії та Герцеговини. Результати порівняння використовуються для модифікації цих програм, щоб відповідати поточним і очікуваним майбутнім потребам промисловості.

У статті [8] представлено аналіз і порівняння двох пропозицій щодо отримання ступеня з інформатики. Аналіз базується на студентських стенограмах, зібраних з академічних систем двох закладів освіти.

У роботах [9; 11] розглянуті питання застосування автоматизованого інструментарію на основі хмарних технологій та Data Mining для вимірювання, збору, аналізу та звітності даних, пов'язаних з отриманими студентами компетенціями з програмної інженерії. У свою чергу метою статті [10] є спроба запропонувати підхід до онтологічного моделювання інформаційної підтримки освітніх процесів, зокрема щодо задач Software Engineering Management.

Виділення не вирішених раніше частин загальної проблеми показує, що не зважаючи на певний інтерес дослідників, на сьогоднішній день питання удосконалення освітніх процесів та програм залишається важливим та до кінця не вирішеним. Особливо це стосується підходів до оцінювання освітніх програм, зокрема на основі аналізу відповідних даних, які можна застосувати на практиці.

Мета статті – методологічна та інформаційна спрямованість на вирішенні актуальної проблеми підвищення якості освіти з програмної інженерії в новій реальності.

Основні матеріали дослідження. Стан освітніх програм (ОП) у вітчизняних ЗВО доцільно розглядати в контексті нових стандартів вищої освіти та міжнародних рекомендацій. У сфері підготовки ІТ-спеціалістів важливого значення набуває гібридна освіта, за якої підвищується вплив та вклад роботодавців галузі в навчальний процес. Ці підходи відповідають парадигмам Global Computing Education, наведеним в останньому релізі CC2020 серії звітів Computing Curricula від Association for Computing Machinery (ACM) та IEEE Computer Society (IEEE-CS). Після тривалої перерви з виходу SE 2014 (Software Engineering Curricular Volume) міжнародні організації повернулися до розгляду керівних принципів програм бакалаврству у комп'ютерних професіях, зокрема у ПІ, з позицій врахування освітніми програмами сучасних галузевих трендів та набуття соціо-психологічних навичок командної роботи.

Головними елементами ОП є освітні компоненти (ОК), від релевантності добору яких залежать компетентності й програмні результати навчання, що мають передбачати досягнення стандартів освіти. Розглянемо склад ОК освітніх програм «Інженерія програмного забезпечення» першого рівня освіти (бакалавр) ЗВО України. Для проведення порівняльного аналізу вказаних ОП будемо базуватись на вибірці освітніх програм, прийнятих у передових вітчизняних технічних університетах (за даними щорічного академічного рейтингу «Топ-200 Україна 2021», проведеного Центром міжнародних проектів «Євроосвіта»). У процесі дослідження вибрано 30 ОП, що реалізуються на відповідних факультетах цих вишів. Як виявилось у процесі аналізу, збільшення довжини вибірки не впливає суттєво на його результати.

Для проведення дослідження зосередимо увагу саме на обов'язкових ОК циклу професійної підготовки, враховуючи наведені вище парадигми. Вказаних ОК у вибірці ОП виявлено значне розмаїття, відчутна частина з яких розрізняються варіаціями назв, таких, наприклад, як «Бази даних» і «Організація баз даних», або «Організація комп'ютерних мереж» і «Основи мережевих технологій» і таке інше. В результаті проведеної можливої уніфікації назв сформувалась множина з 94 ОК.

Далі проведено підрахунок кількості кожної з цих ОК у вибраних ОП. Виявилось, що значна частка з них зустрічається усього один-два рази. Скоріше за все університети додавали їх передусім виходячи з власних переваг, можливостей і обмежень. Тому для проведення подальшого аналізу запропоновано вилучити такі ОК з розгляду. Врешті-решт після проведеного скорочення обсягу даних залишилося 43 дисципліни.

Програмна інженерія якісно відрізняється від інших інженерних дисциплін специфічністю вихідного продукту та процесів його виготовлення. За визначенням, наведеним у SE 2004 (Software Engineering Education Knowledge) «програмна інженерія – це інтегрування принципів математики, інформатики і комп'ютерних наук з інженерними підходами, розробленими для виробництва відчутних матеріаль-

них артефактів». Тому, окрім базової ознаки кількості кожної ОК в освітніх програмах, введемо до розгляду поняття ваги ОК, яке пов'язане зі зв'язаністю ОК безпосередньо з професійними компетенціями програмної інженерії. Рівень ваги визначено експертним шляхом, використовуючи бальні оцінки у діапазоні (1–30). В результаті отримано набір даних для подальшого аналізу (табл. 1).

Таблиця 1

Набір даних щодо компонент освітніх програм

№ ОК	Освітні компоненти	Кількість в ОП	Вага
1	2	3	4
1.	Алгоритми і структури даних	23	20
2.	Аналіз вимог до програмного забезпечення	20	30
3.	Архітектура комп'ютера (комп'ютерна схемотехніка)	20	15
4.	Архітектура та проектування програмного забезпечення	22	28
5.	Бази даних (організація, теорія, проектування, технології, організація даних в обчислювальних системах)	30	16
6.	Безпека життєдіяльності (основи охорони праці)	11	5
7.	Безпека програм та даних (захист даних, програмні технології захисту інформації, інформаційна безпека)	25	19
8.	Веб-технології (веб-дизайн, веб-програмування, розробка веб-сторінок)	13	24
9.	Вища математика	9	14
10.	Групово динаміка і комунікації (практикум з командної розробки)	12	27
11.	Дискретна математика (комп'ютерна дискретна математика)	24	14
12.	Дискретні структури (теорія, комп'ютерні методи аналізу дискретних об'єктів)	11	14
13.	Диференціальні рівняння	3	10
14.	Економіка програмного забезпечення (економіка ІТ-індустрії)	8	29
15.	Емпіричні методи програмної інженерії	14	28
16.	Комп'ютерна графіка та візуалізація (обробка зображень)	11	8
17.	Інтелектуальний аналіз даних (засоби інженерії даних)	8	9
18.	Інформаційні технології (вступ до ІТ, вступ до фаху, методи та засоби перетворення інформації, офісні технології, основи апаратного і програмного забезпечення персональний комп'ютера, інструментальні програмні засоби)	12	19
19.	Конструювання програмного забезпечення (проектування ПЗ)	20	26
20.	Лінійна алгебра та аналітична геометрія	12	12
21.	Людино-машинна взаємодія	17	20
22.	Математичний аналіз	13	14
23.	Менеджмент проектів програмного забезпечення (управління ІТ-проектами)	16	30
24.	Методи оптимізації та дослідження операцій	5	10
25.	Моделювання та аналіз програмного забезпечення (моделювання та проектування ПЗ, аналіз та рефакторинг коду)	20	27
26.	Об'єктно-орієнтоване програмування (об'єктно-орієнтоване конструювання програм, методи об'єктно-орієнтованого проектування програмних систем, об'єктно-орієнтоване проектування на мові UML)	30	24
27.	Операційні системи	24	19
28.	Організація комп'ютерних мереж (комп'ютерні інформаційні мережі та системи, технології глобальних мереж, основи мережевих технологій)	22	16
29.	Основи програмної інженерії	23	26
30.	Основи програмування (алгоритмізація та програмування, основи алгоритмізації)	28	24
31.	Програмування в Інтернет (програмування інтернет-застосувань, скриптові мови)	17	23
32.	Програмування мобільних платформ	4	22
33.	Програмування мовою Java	5	21
34.	Програмування систем з серверами баз даних, (СКБД, My SQL, технологія доступу до баз даних ADO.NET, програмування баз даних та SQL)	4	21
35.	Професійна практика програмної інженерії	9	29
36.	Системний аналіз	4	7
37.	Системи штучного інтелекту (машинне навчання)	6	9

Закінчення таблиці 1

1	2	3	4
38.	Теорія ймовірностей та математична статистика	17	14
39.	Теорія паралельних обчислень	5	10
40.	Теорія прийняття рішень (математичні методи прийняття рішень)	4	8
41.	Фізика (вибрані розділи, фізичні основи комп'ютерної електроніки, основи електроніки, цифрова обробка інформації)	19	15
42.	Чисельні методи (високопродуктивні обчислення)	8	10
43.	Якість програмного забезпечення та тестування	23	30

Після комплексного аналізу всіх ОК з урахуванням їх ваги стало очевидним, що можна визначити п'ять груп предметів (табл. 2). Їх співвідношення за кількістю ілюструє рис. 1.

Таблиця 2

Групи освітніх компонент у вибірці

Індекс групи	Група	Діапазон оцінок ваги	Кількість ОК в групі
A	Професійної підготовки з програмної інженерії	25–30	11
B	Програмування	20–24	9
C	Технології	15–19	6
D	Математичної підготовки	10–14	9
E	Інші	1–9	8

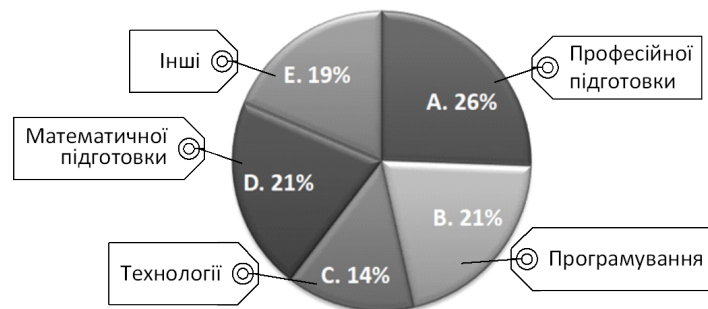


Рис. 1. Співвідношення груп освітніх компонент

Для виявлення ОК з високим рівнем конгруентності доцільно побудувати відомий «магічний квадрант» від провідної світової аналітичної компанії у сфері інформаційних технологій Gartner (рис. 2).

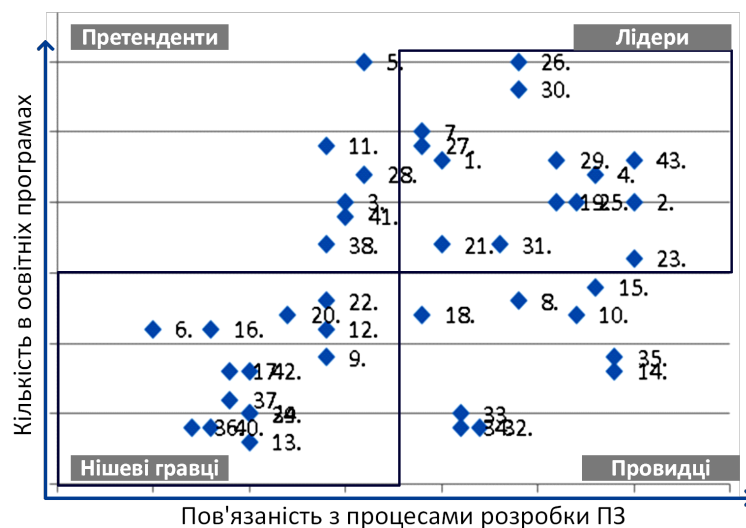


Рис. 2. «Магічний квадрант» груп освітніх компонент

У якості лінійної шкали «повнота бачення» (completeness of vision) використаємо показник вагомості ОК, тобто рівень пов'язаності безпосередньо з процесами розробки ПЗ. У якості шкали «здатність до реалізації» (ability to execute) використаємо показник кількості ОК в ОП, що досліджуються. Таким чином, кожна ОК опиняється, згідно з даною моделлю, в одному з чотирьох квадрантів площини. Як можна бачити, 14 ОК, що потрапили у квадрант «Лідери», такі як «Об'єктно-орієнтоване програмування», «Основи програмування», «Основи програмної інженерії», «Якість програмного забезпечення та тестування» та інші мають безпосереднє відношення до професійної практики програмної інженерії.

У квадрант «провідці» потрапили ОК, що мають високі вагові оцінки (за «повнотою бачення»), а в квадранті «претенденти» опинилися ОК, що мають високі кількісні оцінки (за «здатністю до реалізації»). З аналізу цих квадрантів виникають слушні запитання, наприклад, чому таку ОК як «Емпіричні методи програмної інженерії» (№ 15), що безпосередньо відноситься до професійної діяльності у сфері ПІ, чимало розробників ОП не включили до своїх програм, водночас «Організація комп'ютерних мереж», що більш відноситься до «нішевих гравців», користується в них високою популярністю.

При проведенні аналізу двох випадкових змінних корисним є визначення коваріації як міри спільної мінливості цих змінних. Для слушності сприйняття цієї характеристики доцільно побудувати діаграми, які її ілюструють «з різних боків» (рис. 3, 4).

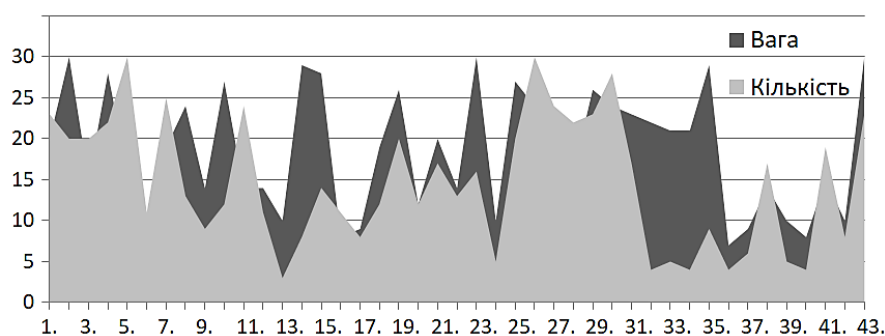


Рис. 3. Площинна діаграма спільної мінливості освітніх компонент

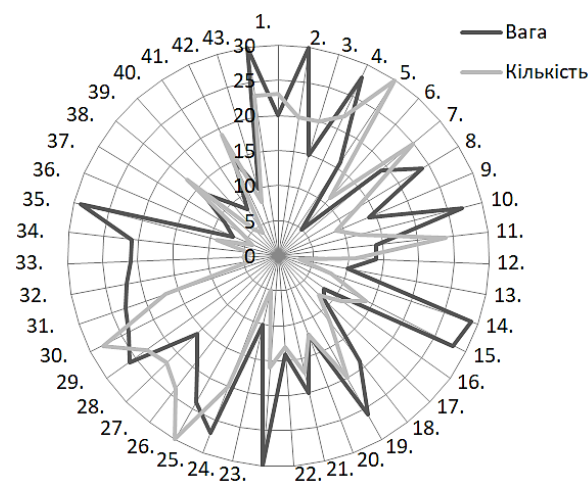


Рис. 4. Пелюсткова діаграма спільної мінливості освітніх компонент

Силу взаємозв'язку своєю величиною показує унормована версія коваріації – коефіцієнт кореляції. У даному випадку цей коефіцієнт дорівнює 0,417. За шкалою Чеддока (Chaddock scale) ця величина свідчить, що зв'язок між ознаками визначається як помірний. Цей ефект можна помітити й на вищенаведених діаграмах.

Ще одним засобом графічного представлення зв'язку двох змінних є діаграми розсіювання. Використаємо систему координат з осями, що відповідають змінним Кількість ОК (вісь x) і Вага (вісь y). Графік побудований на упорядкованих значеннях змінної Кількість (рис. 5). Дана діаграма показує, що низькі значення змінної Кількість не завжди відповідають низьким значенням змінної Вага, а високі значення змінної Кількість не завжди відповідають високим значенням змінної Вага, що демонструє наявність помірною зв'язку.

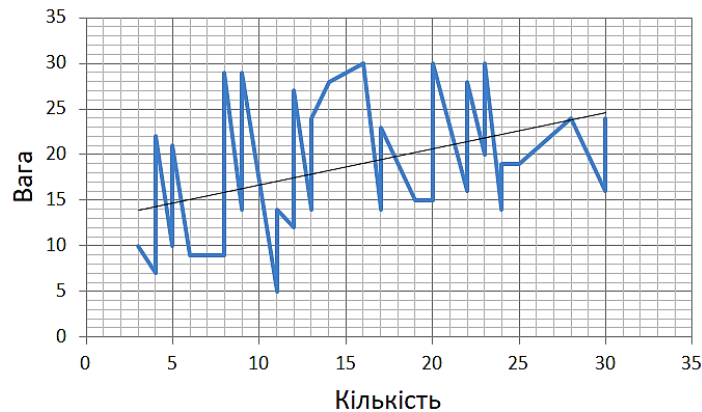


Рис. 5. Діаграма розсіювання спільної мінливості освітніх компонент

Обговорення отриманих наукових результатів. Проведений аналіз не претендує на повноту і узагальненість. Науковою новизною можна вважати визначення одного з підходів щодо аналізу статистичних даних з метою пошуку нового знання для вдосконалення освітніх програм. Наочним прикладом використання даних може бути визначення відповідності освітніх програм принципам відстеження сучасних галузевих трендів та набуття соціо-психологічних навичок командної роботи. Лише у дванадцяти програмах (40 %) передбачено дисципліну, що повинна, передусім, знайомити студентів з сучасним розвитком технологій (має різні варіації назв – методи та засоби комп'ютерних інформаційних технологій, інформаційні технології, вступ до ІТ, вступ до фаху, методи та засоби перетворення інформації, тощо). У свою чергу у вибірці, що аналізована, також лише у 40 % програм зазначається дисципліна «Групово динаміка і комунікації», а «Менеджмент проектів програмного забезпечення», або «Управління ІТ-проектами», зустрічається тільки у 53 % програм.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Розроблений підхід дозволяє забезпечувати постійний моніторинг освітніх програм з метою оцінити їх відносну відповідність сучасним тенденціям та згенерувати можливі рішення щодо удосконалення програм. У подальшому доцільним є автоматизувати збирання даних, проведення аналізу, забезпечення постійного обміну інформацією та процесу оцінки, щоб допомогти розробникам програм здійснювати вибір критеріїв і проводити оцінку альтернативних варіантів розробки.

Список використаних джерел:

1. Длугопольський О. В. Розвиток експертного середовища для оцінювання якості вищої освіти України. Інноваційний університет і лідерство: проект і мікропроекти-V / за ред. Т. Фінікова, Р. Сухарські. Варшава : Fundacja "Instytut Artes Liberales" UW, 2021. С. 267–276.
2. Матвійчук-Юдіна О. Аналіз зарубіжного досвіду формування робочих планів та освітніх програм підготовки фахівців інформаційних технологій спеціальності «кібербезпека». *Педагогічні науки: теорія, історія, інноваційні технології*. 2017. № 7 (71). С. 3–14. <https://doi.org/10.24139/2312-5993/2017.07/003-014>
3. Омельчук Л. Л., Русіна Н. Г. Порівняння освітніх програм в розрізі досяжності компетентностей і результатів навчання обов'язковими освітніми компонентами. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Серія: фізико-математичні науки*. 2021. Том 3. С. 129–136. <https://doi.org/10.17721/1812-5409.2021/3.25>
4. Річний звіт Національного агентства із забезпечення якості вищої освіти за 2021 рік / За заг. ред. С. Квіта. К. : Національне агентство із забезпечення якості вищої освіти, 2022. 232 с.
5. Федорова В. О., Шуляк М. Л. Критичний аналіз моделей реалізації індивідуальної освітньої траєкторії здобувача вищої освіти. *Вісник Черкаського національного університету імені Богдана Хмельницького. Серія «Педагогічні науки»*. 2020, випуск № 4. С. 152–157. <https://doi.org/10.31651/2524-2660-2020-4-152-157>
6. Acosta N. D., Garcia M. B., Romero J. B., Sevillano A. L., Paez N. F., Roa O. Educational trends in software engineering: a systematic review study. *International Congress of Innovation and Trends in Engineering (CONITI)*, October 02–04, 2019, Bogota, Colombia. 2019. <https://doi.org/10.1109/CONITI48476.2019.8960866>
7. Brdjanin D., Hajdar A., Kasapovic S. and al. Comparative Analysis of Computer Science Study Programs at Universities in Bosnia and Herzegovina. *International Conference on e-Education (ICeE'14)*. At: Mostar, BiH2014, 2014.
8. Finamore A. C., Jimenez H. G., Casanova M. A., Nunes B. P., Santos A. M., Pires A. P. A comparative analysis of two computer science degree offerings. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 2020, #26 (3). <https://doi.org/10.1186/s13173-020-00097-0>
9. Misnevs B., Puptsau A. Learning Analytics and Software Engineering Competences. *17th International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat)*, October 18–21, 2017. Riga, Latvia. Reliability and statistics in transportation and communication. Lecture Notes in Networks and Systems. 2018, vol. 36, p. 649–658. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74454-4_62

10. Nesterenko O., Selin Yu. The Teams Information Model for Software Engineering Management. 2021 IEEE 16th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT), 2021, vol. 1, p. 341–344. <https://doi.org/10.1109/CSIT52700.2021.9648737>

11. Sanchez J. A., Valle B. M., Nicolas J. and al. TI Cloud service as the driver for university's software engineering programs digital transformation. *3rd International Conference on Traffic Engineering in Transportation and Logistics (ICTE)*, April 08–10, 2018, Budapest, Hungary. P. 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.126>

12. Yoshida C. Consideration on criteria and educational theory regarding the informatics software engineering discipline in Japan edulearn. *11th international conference on education and new learning technologies*, July 01–03, 2019, Palma, Spain. P. 2166–2172. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2019>

References:

1. Dluhopolskyi, O. V. (2021). Rozvytok ekspertnoho seredovyshcha dlia otsiniuvannya yakosti vyshchoi osvity Ukrainy. *Innovatsiyni universytet i liderstvo: proekt i mikroproekty-V* [Development of an expert environment for assessing the quality of higher education in Ukraine. Innovative University and Leadership: Project and Microprojects-V]. Editing T. Finikova, R. Sukharski. Varshava : Fundacija "Instytut Artes Liberales" UW. 267–276. [in Ukrainian]

2. Matviichuk-Yudina, O. (2017). Analiz zarubizhnogo dosvidu formuvannya robochykh planiv ta osvitykh prohram pidhotovky fakhivtsiv informatsiynykh tekhnolohii spetsialnosti "kiberbezpeka" [Analysis of foreign experience in the formation of work plans and educational programs for training information technology specialists in "cybersecurity"], *Pedahohichni nauky: teoriia, istoriia, innovatsiini tekhnolohii – Pedagogical sciences: theory, history, innovative technologies*. 7 (71), 3–14. <https://doi.org/10.24139/2312-5993/2017.07/003-014> [in Ukrainian]

3. Omelchuk, L. L., and Rusina, N. H. (2021). Porivniannia osvitykh prohram v rozrizi dosiazhnosti kompetentnosti i rezultativ navchannia oboviazkovykh osvitynykh komponentamy [Comparison of educational programs in terms of achievement of competencies and learning outcomes of compulsory educational components]. *Visnyk Kyivskoho natsionalnoho universytetu imeni Tarasa Shevchenka. Serii: fizyko-matematychni nauky – Bulletin of the Taras Shevchenko National University of Kyiv. Series: physical and mathematical sciences*. 3, 129–136. <https://doi.org/10.17721/1812-5409.2021/3.25> [in Ukrainian]

4. Richnyi zvit Natsionalnoho ahentstva iz zabezpechennia yakosti vyshchoi osvity za 2021 rik. [Annual report of the National Agency for Quality Assurance in Higher Education for 2021]. (2022). Ed. S. Kvit. Kyiv, *Natsionalne ahentstvo iz zabezpechennia yakosti vyshchoi osvity – Kyiv, National Agency for Quality Assurance in Higher Education*. Retrieved from: <https://naqa.gov.ua/wp-content/uploads/2022/02/3bit-2021.pdf> [in Ukrainian]

5. Fedorova, V. O., Shuliak, M. L. (2020). Krytychnyi analiz modelei realizatsii indyvidualnoi osvitynoi traiektorii zdobuvacha vyshchoi osvity [Critical analysis of models for realization of individual educational trajectory of higher education seeker]. *Visnyk Cherkaskoho natsionalnoho universytetu imeni Bohdana Khmelnytskoho. Serii "Pedahohichni nauky" – Bulletin of Cherkasy National Bohdan Khmelnytsky University. Series "Pedagogical Sciences"*, 4. 152–157. <https://doi.org/10.31651/2524-2660-2020-4-152-157> [in Ukrainian]

6. Acosta, N. D., Garcia, M. B., Romero, J. B., Sevilano, A. L., Paez, N. F., and Roa, O. (2019). Educational trends in software engineering: a systematic review study. *International Congress of Innovation and Trends in Engineering (CONIITI)*, October 02–04, 2019, Bogota, Colombia. <https://doi.org/10.1109/CONIITI48476.2019.8960866>

7. Brdjanin, D., Hajdar, A., Kasapovic, S., and al. (2014). Comparative Analysis of Computer Science Study Programs at Universities in Bosnia and Herzegovina. *International Conference on e-Education (ICeE'14)*. At: Mostar, BiH2014.

8. Finamore, A. C., Jimenez, H. G., Casanova, M. A., Nunes, B. P., Santos, A. M., and Pires, A. P. (2020). A comparative analysis of two computer science degree offerings. *Journal of the Brazilian Computer Society*, 26 (3). <https://doi.org/10.1186/s13173-020-00097-0>

9. Misnevs, B., and Puptsau, A. (2018). Learning Analytics and Software Engineering Competences. *17th International Conference on Reliability and Statistics in Transportation and Communication (RelStat)*, October, 18–21, 2017, Riga, Latvia. Reliability and statistics in transportation and communication. Lecture Notes in Networks and Systems. 36, 649–658. https://doi.org/10.1007/978-3-319-74454-4_62

10. Nesterenko, O., and Selin, Yu. (2021). The Teams Information Model for Software Engineering Management. 2021 IEEE 16th International Conference on Computer Sciences and Information Technologies (CSIT). 1, 341–344. <https://doi.org/10.1109/CSIT52700.2021.9648737>

11. Sanchez, J. A., Valle, B. M., Nicolas, J., ..., and Estrada, M. A. R. (2018). TI Cloud service as the driver for university's software engineering programs digital transformation. *3rd International Conference on Traffic Engineering in Transportation and Logistics (ICTE)*, April, 08–10, 2018, Budapest, Hungary. 215–222. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.01.126>

12. Yoshida, C. Consideration on criteria and educational theory regarding the informatics software engineering discipline in Japan edulearn. *11th international conference on education and new learning technologies*, July, 01–03, 2019, Palma, Spain. 2166–2172. <https://doi.org/10.21125/edulearn.2019>

УДК 519.8

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.11>

Дмитро ОЛЬХОВСЬКИЙ

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Полтавський університет економіки і торгівлі, вул. Ковалю, 3, Полтава, Україна, індекс 36000 (dmitriy@olhovsky.name)

ORCID: 0000-0003-0313-6977

Олена ОЛЬХОВСЬКА

кандидат фізико-математичних наук, завідувач кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Полтавський університет економіки і торгівлі, вул. Ковалю, 3, Полтава, Україна, індекс 36000 (lana@olhovsky.name)

ORCID: 0000-0001-5366-5995

Оксана ЧЕРНЕНКО

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Полтавський університет економіки і торгівлі, вул. Ковалю, 3, Полтава, Україна, індекс 36000 (oksanachernenko7@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-9084-0999

Тетяна ПАРФЬОНОВА

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Полтавський університет економіки і торгівлі, вул. Ковалю, 3, Полтава, Україна, індекс 36000 (tapa.poltava@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-9343-2061

Тетяна ЧІЛІКІНА

кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук та інформаційних технологій, Полтавський університет економіки і торгівлі, вул. Ковалю, 3, Полтава, Україна, індекс 36000 (tv.0502@gmail.com)

ORCID: 0000-0001-8234-9131

Dmytro OLHOVSKIY

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at Department of Computer Science and Information Technology, Poltava University of Economics and Trade, Koval str., 3, Poltava, Ukraine, postal code 36000 (dmitriy@olhovsky.name)

Olena OLKHOVSKA

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at Department of Computer Science and Information Technology, Poltava University of Economics and Trade, Koval str., 3, Poltava, Ukraine, postal code 36000 (lana@olhovsky.name)

Oksana CHERNENKO

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at Department of Computer Science and Information Technology, Poltava University of Economics and Trade, Koval str., 3, Poltava, Ukraine, postal code 36000 (oksanachernenko7@gmail.com)

Tatyana PARFONOVA

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at Department of Computer Science and Information Technology, Poltava University of Economics and Trade, Koval str., 3, Poltava, Ukraine, postal code 36000 (tapa.poltava@gmail.com)

Tatyana CHILIKINA

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Department of Computer Science and Information Technology, Poltava University of Economics and Trade, Koval str., 3, Poltava, Ukraine, postal code 36000 (tv.0502@gmail.com)

Бібліографічний опис статті: Ольховський, Д., Ольховська, О., Черненко, О., Парфьонова, Т., Чілікіна, Т. (2022). Програмний комплекс для розв'язування евклідових комбінаторних оптимізаційних задач точними та наближеними методами. *Інформаційні технології та суспільство*, 2 (4), 78–87. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.11>

Bibliographic description of the article: Olhovskiy, D., Olkhovska, O., Chernenko, O., Parfonova, T., Chilikina, T. (2022). Proqramnyi kompleks dlia rozv'iazuvannia evklidovykh kombinatornykh optymizatsiinykh zadach tochnymy ta nablyzhenymy metodamy [Software package for solving euclidean combinatorial optimization problems with accurate and approximate methods]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information technology and society*, 2 (4), 78–87. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.11>

ПРОГРАМНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ РОЗВ'ЯЗУВАННЯ ЕВКЛІДОВИХ КОМБІНАТОРНИХ ОПТИМІЗАЦІЙНИХ ЗАДАЧ ТОЧНИМИ ТА НАБЛИЖЕНИМИ МЕТОДАМИ

Задачі комбінаторної оптимізації набувають усе більшого поширення на практиці. Це зумовлено тим, що велика кількість прикладних задач описується моделями, в яких розв'язок визначений на комбінаторних множинах. Розв'язування таких задач вимагає розробки нових або модифікації вже наявних методів, написання алгоритмів та їх програмної реалізації. **Мета роботи** – створити програмний продукт для розв'язування евклідових комбінаторних оптимізаційних задач точними та наближеними методами. При цьому важливим є врахування структури комбінаторних конфігурацій, зокрема, із застосуванням теорії графів. Важливим, окрім розробки нових математичних підходів, є врахування сучасного стану обчислювальної техніки – наявність потужних багатопроцесорних систем.

Методологія. Для розробки програми було вибрано мову програмування високого рівня Object Pascal середовища програмування Delphi.

Наукова новизна. У роботі проведено опис розробленого програмного комплексу, який реалізує методи для розв'язування задач комбінаторної оптимізації різними методами.

Представлений програмний продукт дає змогу розв'язувати задачі лінійного програмування методом комбінаторного відсікання на основі алгоритму Кармаркара для умовних лінійних задач комбінаторної оптимізації на переставленнях. На відміну від відомих методів комбінаторного відсікання для задач на вершинно розташованих множинах, тут допоміжна задача лінійного програмування розв'язується не певною різновидністю симплекс-методу, а поліноміальним алгоритмом Кармаркара.

Розроблений програмний продукт реалізує також другий метод комбінаторного відсікання в умовних лінійних задачах на вершинно розташованих множинах з виключенням виродженості в допоміжних задачах лінійного програмування. Також знайдено розв'язок задачі комбінаторної оптимізації модифікованим методом з можливістю приєднання необхідних обмежень та відкидання зайвих. Такий підхід дозволив значно збільшити вимірність задач, що можуть бути розв'язані.

Висновки. Завдяки програмному комплексу стало можливим розв'язування комбінаторних задач оптимізації із застосуванням представлення комбінаторного многогранника у вигляді графа значних вимірностей.

Створений програмний продукт дозволив провести чисельні експерименти всіма вище зазначеними методами для підтвердження їх практичної ефективності та коректності.

Ключові слова: комбінаторний многогранник, поліноміальний алгоритм Кармаркара, вершинно розташовані множини, комбінаторне відсікання.

SOFTWARE PACKAGE FOR SOLVING EUCLIDEAN COMBINATORIAL OPTIMIZATION PROBLEMS WITH ACCURATE AND APPROXIMATE METHODS

Combinatorial optimization problems are becoming more common in practice. This is due to the fact that a large number of applied problems are described by the models in which the solution is defined on combinatorial sets. Solving such problems requires the development of new methods or modification of existing methods, writing algorithms and their software implementation. **The aim of the work** is to create a software product for solving Euclidean combinatorial optimization problems with accurate and approximate methods. It is important to take into account the structure of combinatorial configurations, in particular, using graph theory. In addition to developing new mathematical approaches, it is essential to consider the current state of computer technology – the presence of powerful multiprocessor systems.

Methodology. The high-level programming language Object Pascal of the Delphi programming environment was chosen for the development of the program.

Scientific novelty. The paper describes the developed software package that implements methods for solving combinatorial optimization problems by different methods.

The presented software product allows to solve linear programming problems by the method of combinatorial clipping on the basis of Carmarcar's algorithm for conditional linear problems of combinatorial optimization on permutations. Unlike

the known methods of combinatorial clipping for problems on vertically located sets, here the auxiliary problem of linear programming is solved not by a certain kind of simplex method, but by the polynomial Carmarkar algorithm.

The developed software product also implements the second method of combinatorial clipping in conditional linear problems on vertically located sets with the exception of degeneracy in auxiliary linear programming problems. We also found a solution to the problem of combinatorial optimization by a modified method with the ability to add the necessary constraints and discard unnecessary ones. This approach has significantly increased the dimensionality of the tasks that can be solved.

Conclusions. Due to the software package, it has become possible to solve combinatorial optimization problems using the representation of combinatorial polygon in the form of a graph of significant dimensions.

The created software product allowed to conduct numerous experiments with all the above methods to confirm their practical effectiveness and correctness.

Key words: combinatorial polyhedron, Carmarkar polynomial algorithm, vertically arranged sets, combinatorial clipping.

Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок з важливими науковими чи практичними завданнями. Дослідження задач евклідової комбінаторної оптимізації є передумовою успішного моделювання важливих економічних, природних, соціальних та інших процесів. Актуальним є і подальше дослідження підходу до розв'язування комбінаторних оптимізаційних задач, що ґрунтується на ідеях методів відсікання для задач оптимізації лінійних функцій з лінійними додатковими обмеженнями, в яких допустима точка має переставні властивості. Є вже низка розроблених методів для розв'язування комбінаторних оптимізаційних задач, для яких актуальною є розробка програмних комплексів, що реалізують алгоритми методів для розв'язування такого класу задач.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Теорія і методи евклідової комбінаторної оптимізації включають систематичне вивчення властивостей комбінаторних множин та їх дослідження, модифікації відомих та розробку нових методів розв'язування оптимізаційних задач комбінаторного типу. Велика кількість публікацій, що присвячена евклідовій комбінаторній оптимізації [1–10], свідчить про необхідність та важливість подібних досліджень у галузі розробки програмних пакетів, що реалізують відомі методи для розв'язання задач евклідової комбінаторної оптимізації.

У роботах [1; 2; 8] розглядається загальна задача евклідової комбінаторної оптимізації на множині переставлень. У [2; 9] запропоновано та обґрунтовано метод комбінаторного відсікання на основі алгоритму Кармаркара для умовних лінійних задач комбінаторної оптимізації на переставленнях. Одержано симплексну форму переставного многогранника, яка необхідна для застосування алгоритму Кармаркара у разі розв'язування допоміжних задач лінійного програмування в методі комбінаторного відсікання. При цьому розв'язана проблема побудови суміжних точок для розв'язку ДЗЛП та побудова нерівності-відсікання. У роботах [3–6] запропоновані методи розв'язку комбінаторних задач та елементи їх програмних реалізацій. Частково проведено порівняння цих методів та представлені результати числових експериментів.

Постановка завдання. Для доведення ефективної роботи та практичного застосування розроблених методів необхідно створити їх практичну реалізацію, що дозволить провести чисельні експерименти для підтвердження практичної ефективності та коректності отриманих результатів.

Виклад основного матеріалу дослідження. Для розробки програми було вибрано мову програмування високого рівня *Object Pascal* середовища програмування *Delphi*.

Створене програмне забезпечення призначене для функціонування в операційній системі *MS Windows*.

У разі розробки програми ставилося завдання створити універсальний програмний комплекс для розв'язування задач лінійної комбінаторної оптимізації як відомими методами, так і розробленими методами та алгоритмами в роботах [1–6; 9].

Для можливості проведення тестування розроблених та наявних методів у різних умовах було реалізовано механізм роботи програми з раціональними дробами. Така реалізація дозволяє легко проводити переключення між апаратом дійсних чисел та роботою з використанням дробів, не змінюючи алгоритми самих методів. Для цього використано відповідні директиви компілятора:

- `{ $Define REAL }` – для використання дійсних чисел;
- `{ $Define FRACT }` – для застосування механізму роботи з раціональними дробами.

З метою ефективного процесу розробки програми було введено уніфікований тип *TNumber*, який використовується для проведення всіх обчислень і залежно від директиви компілятора є або дійсним типом, або раціональним дробом.

Практичні чисельні експерименти показали, що використання дійсних чисел у роботі програми дозволяє досягти більшої швидкодії та економії ресурсів оперативної пам'яті, в іншому випадку – використання апарату дробів – дозволило повністю усунути можливі похибки округлення чисел при обчисленнях за рахунок більших витрат обчислювальних ресурсів комп'ютерної системи.

Програмна реалізація створена в рамках єдиного проєкту з розділенням на окремі модулі та класи. Загальну архітектуру створеної програми можна представити у вигляді трьох основних функціональних блоків:

- блоку взаємодії з користувачем та даними;
- блоку реалізації допоміжного функціоналу та оголошень змінних та типів;
- обчислювального блоку.

Для наочного зображення загальної архітектури наведено її схематичне представлення на рисунку 1. Наведена програмна архітектура дозволила виокремити функціональні частини програми у окремі модулі та класи програми для забезпечення їхньої ефективної взаємодії та керування роботою програми.

Опишемо структуру та особливості кожного зі створених функціональних блоків програми детально.

Модуль форми *MainForm* разом із його програмною частиною *MainUnit* в єдиному однойменному класі об'єднує всі інші класи та модулі, які реалізовані в програмі. В такому модулі представлений уніфікований доступ до всіх функціональних можливостей програми, а також реалізована взаємодія з користувачем: задання вхідних даних (як користувачем з клавіатури чи файлу, так і з використанням генерації даних) для методів та алгоритмів, виведення повної інформації про процес розв'язування задачі та результатів обчислень, керування параметрами окремих алгоритмів та методів для зміни процесу розв'язування задачі тощо. Разом з модулями *HtmlOut*, *InOut* та *Generation* вони утворюють блок взаємодії з користувачем та обробки даних.

У зв'язку зі значною кількістю приватних змінних та функцій прототип класу наводити не будемо, зупинимось більш детально тільки на методі *RunMain*.

Метод *RunMain* (*Method: integer*) реалізовує об'єднаний інтерфейс роботи з усіма обчислювальними методами програми, забезпечує взаємодію інтерфейсу користувача з обчислювальним блоком програми. Вхідним параметром для функції є ідентифікатор методу, який необхідно використовувати на такому етапі. На початку роботи методу проводиться перевірка коректності задання всіх даних, необхідних для проведення обчислень, і у разі відсутності помилок керування передається відповідному модулю для проведення обчислень. Після завершення обчислень метод проводить збереження отриманих результатів шляхом виведення їх на екран або записування у файл з відповідним повідомленням користувача.

З метою виведення результатів обчислень (як остаточних, так і проміжних) було створено два модулі: *HtmlOut* та *InOut*.

Модуль *HtmlOut* містить у собі методи, необхідні для збереження деталізованих результатів обчислень у файл формату *html* (*HyperText Markup Language*):

- метод *PrepareHTMLFile*(*FName: string*) проводить підготовку файлу для можливості виведення у нього необхідної інформації, вхідним параметром є повний шлях до зберезуваного файлу;
- метод *STableToHTML*(*var STable: STArray; var OFName: TextFile*) виконує збереження однієї ітерації роботи обчислювального алгоритму у файл;
- процедура *FinishHTMLFile* виконує закриття відкритих тегів у файлі та закриває режим запису.

Програмний модуль *InOut* використовується для відображення отриманих результатів на екран, а також для експорту результатів у формат *MS Excel*. В ньому, зокрема, міститься реалізація таких методів:

- процедура *PrintV1* – призначена для відображення результатів обчислень на екран у табличному представленні;
- метод *ExportSGToExcelV1* призначений для експорту результатів у табличний процесор *MS Excel* для можливості проведення детального аналізу отриманих результатів обчислень.

Методи модулю *Generation* використовуються для генерації лінійних задач оптимізації на множині переставлень. Функціонал такого модулю дозволяє генерувати необхідну кількість задач з можливістю задання всіх вхідних даних задачі: множини перестановок, коефіцієнтів функції цілі, проміжків, на яких необхідно проводити генерацію коефіцієнтів задач. Особливістю модулю є те, що у разі генерації задач використовується псевдовипадковий генератор, який дозволяє для вказаних параметрів задачі відновити її за порядковим номером.

В іншому структурному блоці розміщені всі оголошення глобальних типів, констант та змінних, а також об'єднані методи реалізації допоміжних алгоритмів для проведення обчислень. Розглянемо деякі з них більш детально.

У класі *TGraph* реалізовані підходи роботи методів оптимізації з використанням графу переставного многогранника. Наведемо прототип цього класу (опустимо блок оголошення приватних змінних):

```
TGraph = class
private
    procedure Clear; dynamic;
    function NodeExists(aNum: integer): boolean; overload;
    function NodeExists(aP: array of integer): integer; overload;
public
    constructor Create;
    destructor Destroy; override;
    procedure Init(aDim: integer; aP, aG: array of TNumber; aF: array of
TNumber); dynamic;
    function AddNode(aNum: integer; aDir: TDirection; aAddNext: boolean =
False): integer; dynamic;
    procedure DelNode(aNum: integer; aDir: TDirection);
    procedure GoNext(aDir: TDirection); dynamic;
    property MaxFuncVal: TNumber read cMaxFuncVal;
```

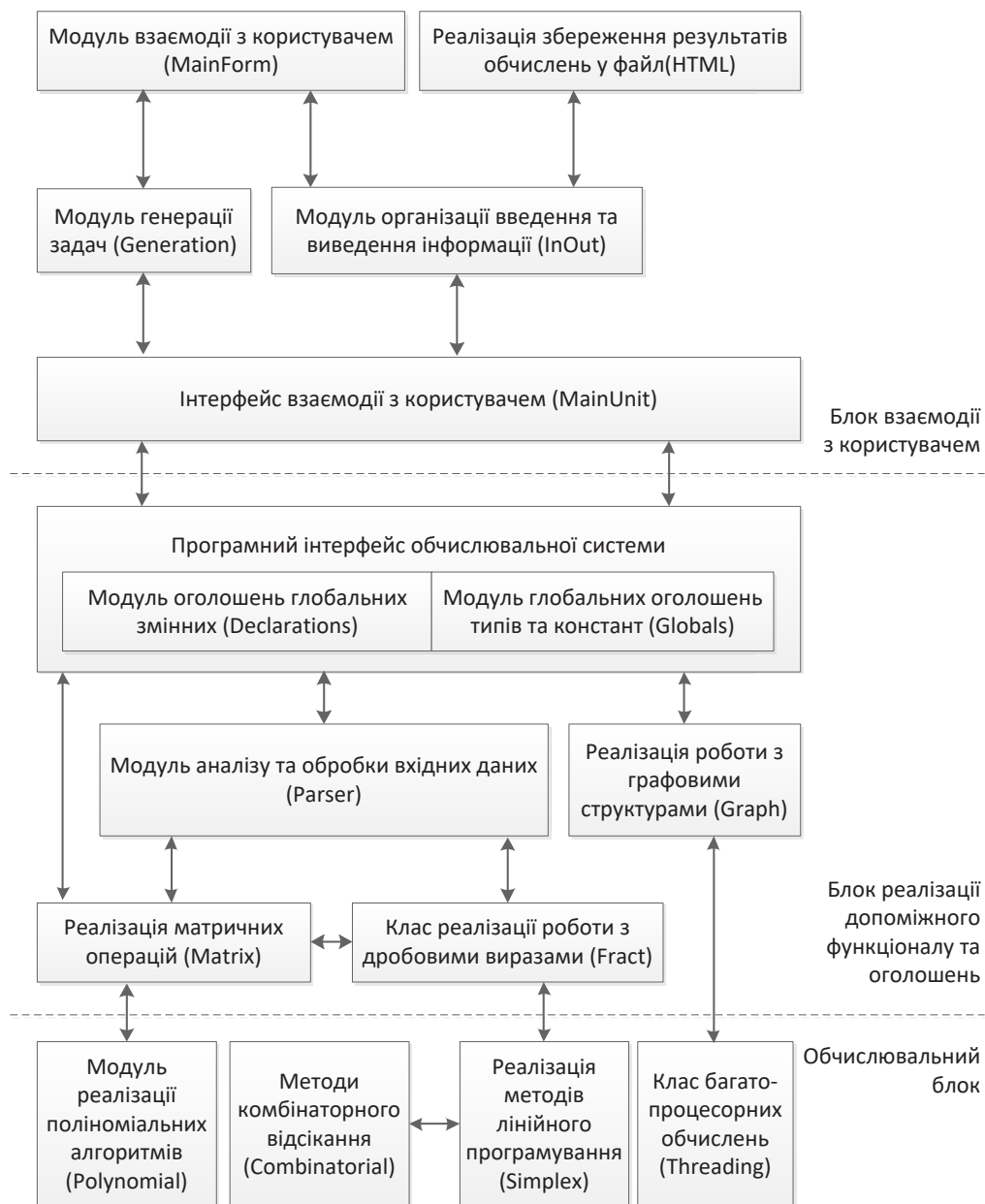


Рис. 1. Архітектура програмної реалізації

```

    property MaxFuncNode: integer read cMaxFuncNode;
    property ErrCode: byte read cErrCode;
    function OutCurrNode: string;
    function GetCurrPoint: FixedNumArray;
end;

```

Конструктор класу *Create* не приймає вхідних параметрів, проводить задання початкових значень необхідним полям класу.

Метод *Init* здійснює ініціалізацію класу. На вхід метод приймає вимірність задачі (*aDim*), значення векторів множини переставлень, індекси початкового переставлення та функцію цілі (*aP*, *aG*, *aF*).

Процедура *AddNode* проводить додавання нового вузла в граф, при цьому за необхідності (у разі активації параметру *aAddNext*) можливе додавання всіх сусідніх вершин з поточною. На вході метод приймає параметр *aDir*, який вказує, в якому напрямку (вростання або спадання значення функції цілі) необхідно проводити додавання суміжних вершин.

Метод *DelNode* проводить видалення вказаної вершини з графу. При цьому проводиться об'єднання всіх суміжних з нею вершин ребрами.

Процедура *GoNext* проводить перехід до наступної суміжної вершини в графі з урахуванням напрямку оптимізації функції цілі (параметр *aDir*).

Властивості, описані в прототипі класу, використовуються для отримання поточного стану графу:

- властивість *MaxFuncVal* повертає поточне оптимальне значення функції цілі у вершині графу;
- з використанням властивості *MaxFuncNode* можна отримати коефіцієнти поточної вершини графу, яка забезпечує оптимальне значення функції цілі на такому етапі;
- властивість *ErrCode* сигналізує про помилку в процесі роботи з графом (наприклад, про відсутність вершин у графі або неможливість переходу до суміжної вершини).

Метод *GetCurrPoint* повертає значення (коефіцієнти) поточної вершини графу.

На основі класу *TGraph* був розроблений дочірній клас *TKGraph*, який реалізує механізми роботи з частковим графом переставного многогранника. Наведемо його прототип:

```

TKGraph = class (TGraph)
private
    cQueue: TList<TNode>;

    procedure Clear; override;
public
    constructor Create;
    destructor Destroy; override;
    procedure Init(aDim: integer; aP, aG: array of TNumber; aF: array of
TNumber); override;
    function AddNode(aNum: integer; aDir: TDirection; aAddNext: boolean =
False): integer; override;
    procedure GoNext(aDir: TDirection); override;
end;

```

Більшість методів та властивостей клас наслідую у батьківського класу *TGraph*. Відрізняється тільки безпосередня реалізація деяких з них для врахування особливостей роботи з частковим графом переставного многогранника, зокрема це методи: *Init*, *AddNode*, *GoNext*.

Клас реалізації операцій з раціональними дробами *Fract* об'єднує у собі всі необхідні для роботи програми методи. Прототип класу виглядає таким чином:

```

TFract = record
    num,
    denom: integer;

// арифметичні оператори
class operator Add(a, b: TFract): TFract;
class operator Subtract(a, b: TFract): TFract;
class operator Multiply(a, b: TFract): TFract;
class operator Divide(a, b: TFract): TFract;

// унарні оператори
class operator Negative(a: TFract): TFract;

```

```

class operator Inc(a: TFract): TFract;
class operator Dec(a: TFract): TFract;
class operator Round(a: TFract): integer;

// логічні оператори
class operator Equal(a, b: TFract): boolean;
class operator NotEqual(a, b: TFract): boolean;
class operator GreaterThan(a, b: TFract): boolean;
class operator GreaterThan(a: TFract; b: real): boolean;
class operator GreaterThanOrEqual(a, b: TFract): boolean;
class operator LessThan(a, b: TFract): boolean;
class operator LessThan(a: TFract; b: real): boolean;
class operator LessThanOrEqual(a, b: TFract): boolean;

// приведення типів
class operator Implicit(a: TFract): integer;
class operator Implicit(a: integer): TFract;
class operator Implicit(a: TFract): real;
class operator Implicit(a: string): TFract;
class operator Implicit(a: TFract): string;

// обчислення абсолютного значення
class function NumAbs1(a: TFract): TFract; static;
class function Abs(a: real): real; overload; static;

private
  class procedure Reduct(var a: TFract); static;
end;

```

У такому класі описані перевантажені оператори для виконання арифметичних операцій із значеннями дробового типу:

- оператор Add призначений для додавання двох дробів;
- метод Subtract виконує віднімання двох дробів;
- Multiply виконує множення двох дробів;
- у методі Divide описаний механізм ділення двох дробів.

Створений набір методів, які реалізують деякі унарні операції з дробами:

- метод Negative – змінює знак дробу на протилежний;
- оператори Inc та Dec виконують збільшення та зменшення значення дробу на одиницю відповідно;

- у методі Round реалізований механізм заокруглення значення дробової змінної до цілого числа.

Клас містить реалізації всіх необхідних операторів для виконання порівняння двох (та більше) дробових значень:

- Equal – перевірка двох дробових значень на рівність;
- NotEqual – визначення факту нерівності двох дробів;
- GreaterThan – виконує порівняння двох дробових значень, повертає істинний результат у разі, коли перший дріб більше другого;
- метод GreaterThanOrEqual повертає істинний результат у разі порівняння двох дробів, якщо перший дріб більший або рівний другому;
- аналогічно до двох попередніх методів оператори LessThan та LessThanOrEqual виконують порівняння двох дробів тільки для випадку, коли перший дріб менший та менший або рівний відповідно.

Група операторів *Implicit* реалізовує механізм приведення змінних різних типів до дробового типу та навпаки.

Також реалізовані функції знаходження абсолютного значення дробової змінної, для можливості перевантаження операцій описана операція абсолютного значення змінних дійсного типу.

Єдиним методом у приватній зоні оголошень класу є процедура *Reduct*, яка реалізовує функціонал скорочення дробу. Цей метод постійно використовується всіма арифметичними операторами для уникнення випадку переповнення значень дробів.

Модуль *Matrix* містить у собі деякі методи, призначені для роботи з матрицями в програмі, зокрема обчислення визначника та рангу матриці, знаходження оберненої та транспонованої матриці тощо. Ці методи використовуються, зокрема, у реалізації поліноміального алгоритму Кармаркара.

Останнім модулем блоку реалізації допоміжного функціоналу ми розглянемо модуль *Parser*, в якому реалізований допоміжний функціонал аналізу вхідних даних задач та підготовки даних для подальших обчислень.

В основному обчислювальному блоці містяться процедури та функції, призначені для безпосереднього розв'язування задач лінійної оптимізації. В ньому, зокрема, реалізовані такі методи:

- для розв'язування задач лінійного програмування (ЗЛП) реалізовано симплекс-метод, двоїтий симплекс-метод та метод штучного базису, з автовибором відповідного методу залежно від розв'язуваної задачі;
- метод Гоморі та метод Дальтона-Ллевеліна для розв'язування цілочислових та дискретних ЗЛП;
- поліноміальний алгоритм Кармаркара для розв'язування ЗЛП;
- перший та другий методи комбінаторного відсікання для розв'язування комбінаторних задач оптимізації на переставному многограннику;
- метод відсікання графа переставного многогранника та метод аналізу графа переставного многогранника.

Розглянемо більш детально основні модулі, які містяться в обчислювальному блоці.

Модуль *Polynomial* містить у собі процедури і функції, які реалізують можливість розв'язування ЗЛП (у тому числі ДЗЛП у методах комбінаторного відсікання) поліноміальним алгоритмом Кармаркара. Алгоритм Кармаркара доступний для використання на будь-якому етапі розв'язування задач для отримання розв'язку ЗЛП. Зокрема, це такі методи, як:

- метод *EvalKarmarkar* – основна процедура, в якій безпосередньо реалізований алгоритм Кармаркара. Вхідними даними для методу є підготовлені на попередньому етапі дані задачі лінійного програмування;
- функція *FindKarmarkarLim* виконує побудову правильного відсікання в методах комбінаторного відсікання для можливості проведення подальшого розв'язку задачі.

У модулі *Simplex* містяться всі процедури та функції реалізації симплекс-методів:

- метод *FirstST* виконує підготовку початкових даних задачі для можливості її розв'язку симплекс-методом;
- функції *SSM*, *DSM* та *M_Method* проводять розв'язування ЗЛП симплекс-методом, двоїтим симплекс-методом та методом штучного базису відповідно;
- метод *CaseMethod* реалізовує вибір необхідного варіанту симплекс-методу для поточної ЗЛП;
- процедура *Marks* проводить обчислення оцінок у кожному з реалізованих модифікацій симплекс-методу.

В окремому модулі *Combinatorial* зосереджені всі процедури та функції реалізації методів комбінаторного відсікання. В модулі реалізовані як відомий перший метод комбінаторного відсікання, так і другий метод комбінаторного відсікання (з його модифікаціями), розроблений у рамках дисертаційного дослідження.

Зупинимось на основних методах, реалізованих у такому модулі:

- метод *AddLimit_Comb* використовується для визначення коефіцієнтів правильного комбінаторного відсікання в методах комбінаторного відсікання;
- функція *Check_Comb* призначена для перевірки критерію зупинки методів комбінаторного відсікання (як першого, так і другого);
- метод *MakeLimits* за даними переставлення будує набір лінійних обмежень, які являють собою переставний многогранник.

Модуль *Threading* містить у собі класи багатопроцесорних обчислень. Основні особливості цих класів такі:

- оптимізація алгоритмів розв'язування лінійних оптимізаційних задач методом відсікання та методом аналізу вершин графа переставного многогранника для багатопроцесорних систем;
- автоматичне масштабування кількості робочих обчислювальних потоків залежно від кількості доступних процесорів у системі;
- гнучкі механізми керування процесом розв'язування задачі для розподілу різних етапів розв'язування задачі між робочими потоками.

Багатопроцесорна реалізація виконана із застосуванням механізму паралельних обчислень за принципом «ведучий – ведений», відповідно до якого один основний потік виконує розподіл робіт між декількома робочими потоками в багатопроцесорній системі.

У програмній реалізації функціонал цих потоків реалізовано в класах *TPrimeGraphThrd* та *TWorkGraphThrd*, кожен з яких містить реалізації, зокрема, таких методів:

- метод ініціалізації потоку *Init* проводить підготовку як основного, так і робочого потоку до процесу обчислень. Вхідними параметрами методу є початкові дані задачі та напрямок обходу графа (напрямок оптимізації цільової функції);
- основний метод потоку *Execute*, в якому реалізований основний функціонал потоку;
- *UpdateResults* – метод, який використовується для коректного відображення поточних результатів, синхронізуючи їх з основним потоком програми;
- метод *HandleTerminate* призначений для коректного завершення роботи потоків.

Всі розглянуті модулі, функції та процедури, які в них розміщені, використовуються в процесі розв'язування практичних задач з використанням методів лінійної оптимізації за визначеними алгоритмами роботи програмної реалізації.

Висновки з цього дослідження та перспективи подальших розвідок у такому напрямі. У цій публікації наведено детальний опис створеної програмної реалізації розроблених методів [1–10] для розв'язування задач комбінаторної оптимізації. Програмна реалізація дозволила на значній кількості прикладів дослідити ефективність розроблених методів, провести серію числових експериментів.

У подальшому доцільно застосувати такий програмний комплекс для розв'язування практичних задач економічного характеру, що зводяться до задач комбінаторної оптимізації та розв'язуються зазначеними методами.

Список використаних джерел:

1. Ємець О. О., Ємець Є. М., Ольховський Д. М. Метод отсечения вершин графа перестановочного многогранника для решения линейных условных задач оптимизации на перестановках. *Кибернетика и системный анализ*. 2014. № 4. С. 146–153.
2. Ємець О. О., Ємець Є. М., Ольховський Д. М. Оптимізація лінійної функції на переставленнях: перетворення переставного многогранника до вигляду, необхідного для використання в алгоритмі Кармаркара. *Наукові вісті НТУУ «КПІ»*. 2010. № 2. С. 43–49.
3. Ємець О. О., Ольховська О. В., Ольховський Д. М. Програмний комплекс, що реалізує методи розв'язування задач комбінаторної оптимізації ігрового типу. *Вісник Черкаського університету*. № 18 (351). 2015. С. 96–101.
4. Ємець О. О., Ольховський Д. М. Програмна реалізація точних і наближених методів відсікання для розв'язування лінійних оптимізаційних задач на перестановках. *Вісник Запорізького національного університету* : збірник наукових статей. № 2. 2015. С. 73–76.
5. Ємець О. О., Ольховська О. В., Ольховський Д. М. Сравнение методов решения игровых задач: числовые эксперименты. *Искусственный интеллект*. № 1. 2014. С. 47–56.
6. Ємець О. О., Ольховська О. В., Ольховський Д. М. Теоретична оцінка складності алгоритмів розв'язування задач комбінаторної оптимізації ігрового типу. *Вісник Черкаського університету*. № 18 (351). 2015. С. 11–18.
7. Ємець О. О., Черненко О. О., Чілікіна Т. В., Ольховська О. В. Огляд задач комбінаторної оптимізації визначення рентабельності сільськогосподарського виробництва та методи їх розв'язування. *Математичне та комп'ютерне моделювання. Серія «Фізико-математичні науки»*. Випуск 22. 2021. С. 63–74.
8. Стоян Ю. Г., Ємець О. О. Теорія і методи евклідової комбінаторної оптимізації. Київ : Інститут системних досліджень освіти, 1993. 188 с.
9. Iemets O. O., Yemets E. M., Olhovskiy D. M. The Method of Cutting the Vertices of Permutation Polyhedron Graph to Solve Linear Conditional Optimization Problems on Permutations. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2014. V. 50, I. 4. P. 613–619.
10. Koliechkina L., Pichugina O., Chilikina T. Multicriteria combinatorial optimization model of an infocommunication system. *International Conference "Problems of Infocommunications. Science and Technology"* (PIC S&T'2021). P. 135–138.

References:

1. Iemets, O. O., Yemets, E. M., Olhovskiy, D. M. (2014). Metod otsecheniya vershin grafa perestanovochnogo mnogogrannika dlya resheniya linejnyh uslovnyh zadach optimizacii na perestanovkah [The method of cutting off the vertices of the permutation polyhedron graph for solving linear conditional optimization problems on permutations]. *Kibernetika i sistemnyj analiz – Cybernetics and systems analysis*. 4, 146–153. [in Russian]
2. Iemets, O. O., Yemets, E. M., Olhovskiy, D. M. (2010). Optymizatsiia liniinoi funksiі na perestavlenniakh: peretvorennia perestavnoho mnogohrannnyka do vyhladu, neobkhdnoho dlia vykorystannia v alhorytmi Karmarkara [Optimization of a linear function on permutations: transformation of a permutable polyhedron to the form required for use in the Carmarkar algorithm]. *Naukovi visti NTUU "KPI" – Scientific news of NTUU "KPI"*. 2, 43–49. [in Ukrainian]
3. Iemets, O. O., Olkhovska, O. V., Olhovskiy, D. M. (2015). Prohramnyi kompleks, shcho realizuie metody rozv'iazuvannia zadach kombinatornoj optymizatsii ihrovoho typu [A software package that implements methods for solving combinatorial game-type optimization problems]. *Visnyk Cherkaskoho universytetu – Bulletin of Cherkasy University*. 18, 96–101. [in Ukrainian]
4. Iemets, O. O. & Olhovskiy, D. M. (2015). Prohramna realizatsiia tochnykh i nablyzhenykh metodiv vidsikannia dlia rozv'iazuvannia liniinykh optymizatsiinykh zadach na perestanovkakh [Software implementation of accurate

and approximate clipping methods for solving linear optimization problems on permutations]. *Visnyk Zaporizhskoho natsionalnoho universytetu: Zbirnyk naukovykh statei – Bulletin of Zaporizhzhya National University: Collection of scientific articles*. 2, 73–76. [in Ukrainian]

5. Iemets, O. O., Olkhovska, O. V., Olhovskiy, D. M. (2014). Sravnenie metodov resheniya igrovyykh zadach: chislovyye jeksperimenty [Comparison of methods for solving game problems: numerical experiments]. *Iskusstvennyj intellekt – Artificial intelligence*. 1, 47–56. [in Russian]

6. Iemets, O. O., Olkhovska, O. V., Olhovskiy, D. M. (2015). Teoretychna otsinka skladnosti alhorytmiv rozviazuvannya zadach kombinatornoi optymizatsii ihrovoho typu [Theoretical assessment of the complexity of algorithms for solving combinatorial optimization problems of the game type]. *Visnyk Cherkaskoho universytetu – Bulletin of Cherkasy University*. 18, 11–18. [in Ukrainian]

7. Iemets, O. O., Chernenko, O. O., Chilikina, T. V., Olkhovska, O. V. (2021). Ohliad zadach kombinatornoi optymizatsii vyznachennia rentabelnosti silskohospodarskoho vyrobnytstva ta metody yikh rozviazuvannya [Review of combinatorial optimization problems for determining the profitability of agricultural production and methods for solving them]. *Matematychni ta kompiuterne modeliuvannia. Seriya "Fyzyko-matematychni nauky" – Mathematical and computer modeling. Series "Physical and Mathematical Sciences"*. 22, 63–74. [in Ukrainian]

8. Stoyan, Yu. G. & Yemets, O. O. (1993). *Teoriia i metody evklidovoi kombinatornoi optymizatsii [Theory and methods of Euclidean combinatorial optimization]*. Kyiv : Institute for Systems Research in Education. [in Ukrainian]

9. Iemets, O. O., Yemets, E. M., Olhovskiy, D. M. (2014). The Method of Cutting the Vertices of Permutation Polyhedron Graph to Solve Linear Conditional Optimization Problems on Permutations. *Cybernetics and Systems Analysis*. 4, 613–619.

10. Koliechkina, L., Pichugina, O., Chilikina, T. (2021). Multicriteria combinatorial optimization model of an infocommunication system. *International Conference "Problems of Infocommunications. Science and Technology" (PIC S&T'2021)*, 135–138.

УДК 004.4

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.12>

Пилип ПРИСТАВКА

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри прикладної математики, Національний авіаційний університет, вул. Любомира Гузара 1, Київ, Україна, індекс 03058 (chindakor37@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-0360-2459

Ольга ЧОЛИШКІНА

кандидат технічних наук, доцент, директор Інституту комп'ютерно-інформаційних технологій Міжрегіональної Академії управління персоналом, вул. Фрометівська 2, Київ, Україна, індекс 03039 (greenhelga5@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-0681-0413

Олександр КОЗАЧУК

здобувач PhD програми, магістр кафедри прикладної математики, Національний авіаційний університет, вул. Любомира Гузара 1, Київ, Україна, індекс 03058 (oleksandrkozachukk@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-3361-6197

Дарина ЯРЕМЕНКО

здобувач, провідний фахівець Центру дистанційного навчання Міжрегіональної Академії управління персоналом, вул. Фрометівська 2, Київ, Україна, індекс 03039 (dashayaremenko17@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-6294-9698

Pylyp PRYSTAVKA

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Applied Mathematics, National Aviation University, 1 Lubomira Guzara str., Kyiv, Ukraine, postal code 03058 (chindakor37@gmail.com)

Olha CHOLYSHKINA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of Institute of Computer Information Technologies, Interregional Academy of Personnel Management, 2 Frometivska str., Kyiv, Ukraine, postal code 03039 (greenhelga5@gmail.com)

Olexandr KOZACHUK

Education Applicant of PhD program, Master of Applied Mathematics, National Aviation University, Lubomira Guzara str. 1, Kyiv, Ukraine, postal code 03058 (oleksandrkozachukk@gmail.com)

Daryna YAREMENKO

Education Applicant, Leading Specialist of the Center for Distance Learning, Interregional Academy of personnel management, 2 Frometivska str., Kyiv, Ukraine, postal code 03039 (dashayaremenko17@gmail.com)

Бібліографічний опис статті: Приставка, П., Чолишкіна, О., Козачук, О., Яременко, Д. (2022). Нейромережева автоматизація наповнення набору даних аерофотозйомки. *Інформаційні технології та суспільство*. 2 (4), 88–99. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.12>

Bibliographic description of the article: Prystavka, P., Cholyshkina, O., Kozachuk, O., Yaremenko, D. Neural network automation of filling the data set of aerial digital images [Neiromerezheva avtomatyzatsiia napovnennia naboru danykh aerofotoziomky]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information technology and society*, 2 (4), 88–99. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.12>

НЕЙРОМЕРЕЖЕВА АВТОМАТИЗАЦІЯ НАПОВНЕННЯ НАБОРУ ДАНИХ АЕРОФОТОЗЙОМКИ

За останні роки технології та методи машинного навчання досягли суттєвого прогресу. Методи машинного навчання та штучного інтелекту знайшли успішне застосування в широкому та розширюваному діапазоні областей та додатків. Важливим завданням сучасної науки та технологій слід вважати використання штучних ней-

ронних мереж з метою визначення, розпізнавання та подальшої класифікації різних об'єктів, присутніх на конкретному зображенні.

Однією з переваг нейронних мереж це те, що всі елементи можуть функціонувати паралельно, тим самим суттєво підвищуючи ефективність розв'язання задачі, особливо в обробці зображень. У даний час існує досить велика кількість систем автоматичного розпізнавання зображень для різних прикладних задач. Нейронні мережі можуть служити як теоретичною так і практичною основою для розробки таких систем. Аспект на який слід звернути увагу при реалізації технології нейромережевого розпізнавання – це база даних (data set), яка необхідна для проведення навчання нейронної мережі. На сьогодні існує велика кількість даних, що отримано з супутників або з літаків. Але безпілотні літальні апарати (БПЛА) мають свою специфіку: вони літають на невеликих висотах, значно більше підлягають вібрації та впливу повітряних мас. Тобто методики відбору даних для навчання мережі з подальшим розпізнаванням саме з бортових камер БПЛА повинні враховувати ці особливості.

Метою статті є опис розробленої інформаційної технології автоматизації наповнення навчального набору даних аерофотозйомки для нейромережевого розпізнавання.

В даній роботі наведено загальний план розробки інформаційної технології, зроблено опис використовуваної архітектури нейронної мережі, наведено основні положення реалізації програм забезпечення, проведено тестування на реальних даних, проведено процедуру поповнення датасету шляхом тестування сегментації та класифікації тестових зображень, проведено перенавчання моделі та тестування класифікації на нових зображеннях, зроблено аналіз результатів.

Ключові слова: штучна нейронна мережа, цифрові зображення, аерофотознімки, розпізнавання образів, класифікація, автоенкодер.

NEURAL NETWORK AUTOMATION OF FILLING THE DATA SET OF AERIAL DIGITAL IMAGES

In recent years, machine learning technologies and methods have made significant progress. The methods of machine learning and artificial intelligence have been successfully used in a wide and expanding range of areas and applications. An important task of modern science and technology should be considered the use of artificial neural networks to identify, recognize and further classify the various objects present in a particular image.

One of the advantages of neural networks is that all elements can operate in parallel, thereby significantly increasing the efficiency of the problem, especially in image processing. Currently, there are quite a number of automatic image recognition systems for various applications. Neural networks can serve as a theoretical and practical basis for the development of such systems. An aspect to pay attention to when implementing neural network recognition technology is the database, which is necessary for neural network training. Today, there is a large amount of data obtained from satellites or aircraft. But unmanned aerial vehicles (UAVs) have their own specifics: they fly at low altitudes, are much more subject to vibration and exposure to air masses. That is, the methods of data selection for network training with subsequent recognition from the onboard cameras of the UAV must take into account these features.

The purpose of the article is to describe the developed information technology for automation of filling the training data set of aerial photography for neural network recognition.

This paper provides a general plan for the development of information technology. Was used a description of the neural network architecture. The main provisions of software implementation were bented. This work also provides testing on real data, the procedure of replenishment of the dataset by testing segmentation and classification of test images, retraining model and testing classification on new images and the analysis of the results.

Key words: artificial neural network, aerial digital images, pattern recognition, classification, autoencoder.

Постановка проблеми. На сьогоднішній день людство спокійно сприймає той факт, що дрони можуть літати самостійно, робити фіксацію інформації, корегувати маршрут та висоту польоту. Це великий успіх. Наступними очікуваннями будуть здібності дронів аналізувати місцевість над якої здійснюється політ, пошук цілей, спостереження за ціллю, бойові вилити та багато інших цільових завдань в залежності від того, що потрапляє на камери цільового навантаження дронів. Такі очікування перш за все йдуть від військових, адже дрони мають потенціал щодо розвідувальних та бойових дій, адже Україна має мотивацію для розвитку саме в цьому напрямі.

Наразі є значний прогрес в області розпізнавання образів, який пов'язаний з застосуванням методів, що базуються на використанні згорткових нейронних мереж. Ці методи швидко розвиваються, в даній галузі постійно з'являються новації, але питання залишається досі відкритим.

Аспект на який слід звернути увагу при реалізації технології нейромережевого розпізнавання – це база даних (data set), яка необхідна для проведення навчання нейронної мережі. На сьогодні існує велика кількість даних, що отримано з супутників або з літаків. Але безпілотні літальні апарати (БПЛА) мають свою специфіку: вони літають на невеликих висотах, значно більше підлягають вібрації та впливу повітряних мас. Тобто методики відбору даних для навчання мережі з подальшим розпізнаванням саме з бортових камер БПЛА повинні враховувати ці особливості. Нажаль методики для такого типу даних не існують у відкритому друці, тому це є також проблемою на шляху створення нових й вдосконалення існуючих методів.

Зважаючи на вище викладене, наведено постановку задачі у наступному вигляді. Розглянемо набір даних, що представлено кафедрою прикладної математики НАУ [12; 13]. Набір даних $D=\{S_k\}$ являє со-

бою набір кольорових 3-канальних зображень розмірністю 64×64 пікселі. Зображення отримані в результаті польотів безпілотної літаючої апаратури (БПЛА) на певній місцевості.

Маємо набір класів $C = \{C_1, \dots, C_{11}\}$,

де C_1 – «Будівлі», C_2 – «Цивільна техніка», C_3 – «Ліси», C_4 – «Гелікоптери», C_5 – «Великі транспортні засоби», C_6 – «Військова техніка», C_7 – «Нерослині поля», C_8 – «Дорога», C_9 – «Сліди техніки», C_{10} – «Траншеї», C_{11} – «Рослині поля».

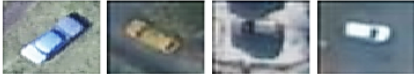
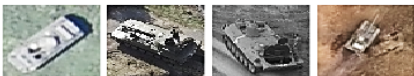
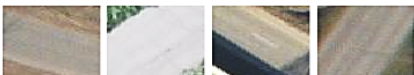
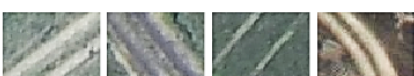
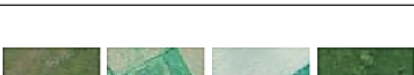
Зображення	Клас
	Будівлі
	Цивільна техніка
	Ліси
	Гелікоптери
	Великі транспортні засоби
	Військова техніка
	Нерослині поля
	Дорога
	Сліди техніки
	Траншеї
	Рослині поля

Рис. 1. Приклади зображень

Поставимо за завдання наступне:

1. Опис та проведення процесу роботи мережі автоенкодера та класифікатору.

2. Створення вікна інтерфейсу користувача.
3. Проведення сегментації аерофотознімків.
4. Прийняття рішення про належність зображення до певного класу.
5. Проведення тестування розробленої ІТ автоматизації наповнення навчального набору на різних зображеннях аерофотозйомки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. За останні роки застосування БПЛА набуло широкого поширення і високої актуальності в багатьох сферах техніки, економіки та суспільного життя, з яких особливе значення може мати повітряна розвідка та спостереження. Обробка та класифікація аерофотознімків знаходять застосування в багатьох областях технологій, таких як моніторинг і виявлення в міських, сільських і природних районах, картографія, спостереження та громадська безпека та інші, і швидко розширюється з безперервним зростанням малої та безпілотної авіації. З цих причин тісно пов'язані напрямки попередньої обробки, сегментації та класифікації зображень приділяють велику увагу та активний розвиток у дослідницькому співтоваристві [1; 2].

Нещодавно було досягнуто ряду досягнень в ефективності обробки зображень і алгоритмів сегментації [3; 4], що дозволило довести експлуатаційну продуктивність цих методів до рівня, необхідного для додатків майже в реальному часі та в реальному часі. Розробка ефективної системи моніторингу, здатної локалізувати та ідентифікувати об'єкти на аерофотознімках є предметом цієї роботи.

До специфічних завдань бортових систем моніторингу та спостереження БПЛА можна віднести пошук і розпізнавання елементів місцевості, що дозволяє здійснювати навігацію по оптичному каналу; пошук та ідентифікація об'єктів, що належать до цільових класів; пошук і відстеження конкретних цілей. До вирішення цих завдань можна підійти за допомогою низки методів і технологій, таких як: методи сегментації [2], адаптивні статистичні методи самонавчання [5], SIFT-подібні методи на основі пошуку особливих точок [6], розпізнавання зображень на основі згорткових нейронних мережах [7; 8; 9] та ін.

На сьогодні є актуальною задача автоматизації наповнення навчального набору даних для нейромережевого розпізнавання аерознімків, що отримано з камер БПЛА.

Мета статті – опис розробленої інформаційної технології автоматизації наповнення навчального набору для нейромережевого розпізнавання.

Виклад основного матеріалу. Для вирішення поставлених завдань запропонуємо наступну інформаційну технологію (рис. 2).

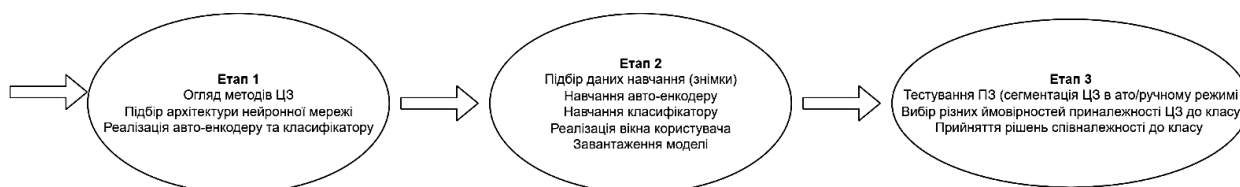


Рис. 2. Інформаційна технологія автоматизації наповнення навчального набору для нейромережевого розпізнавання

Для реалізації даної інформаційної технології, було розроблено програмний комплекс, що складається з двох частин (навчання та класифікація).

Перша частина підлягає на створення автоенкодера та класифікатору, проведення їх навчання на навчальному наборі зображень. Вихідними даними є навчена модель згорткової нейронної мережі.

Друга частина відводиться на створення інтерфейсу користувача для подальшого проведення тестування сегментації та класифікації зображень, на основі створеної моделі нейронної мережі.

Суть проектованої системи зручно представити у вигляді UML-діаграми використання.

Розглянемо архітектуру автоенкодера – нейронної мережі, яка працює за принципом методу головних компонент, тобто зменшує розмірність даних [11]. Мета автокодера полягає в тому, щоб навчитися представлення (кодування) більш низьких розмірів для даних більшої розмірності, як правило, для зменшення розмірності, шляхом навчання мережі для захоплення найважливіших частин вхідного зображення. Автоенкодер розділяється на дві підмережі (рис. 4), одна з яких виконує функцію шифрування, а інша – розшифровування. Дана архітектура автоенкодера ускладнює побудову класифікатору та збільшує ресурсні потреби, але дозволяє значно зменшити розмірність класифікуючих векторів.

У даній роботі було обрано архітектуру згорткову нейронну мережу (CNN) з модифікаціями у структурі (рис. 5).

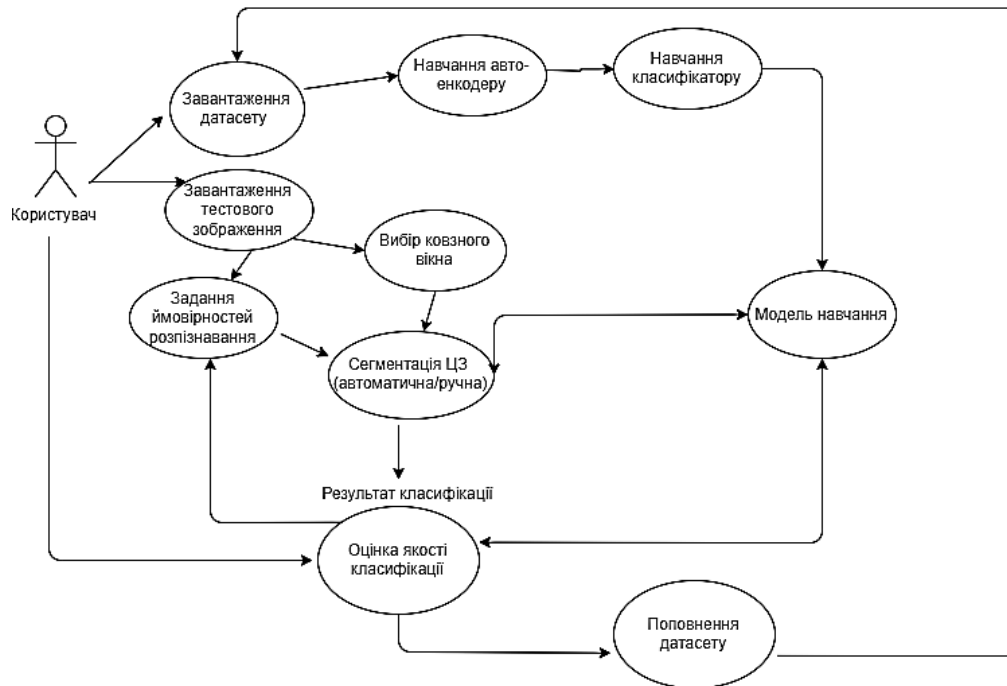


Рис. 3. Спроектowana система

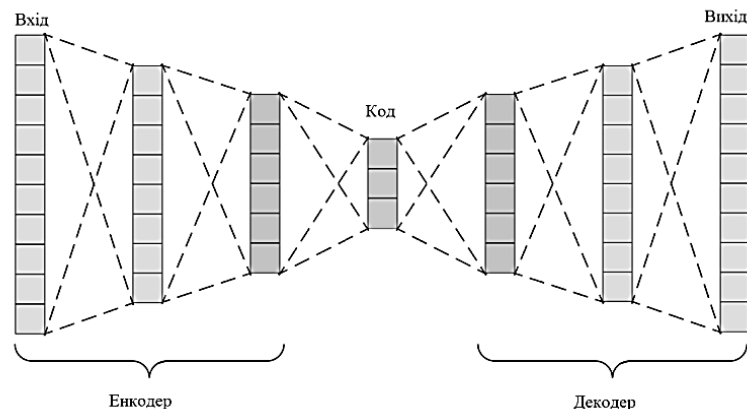


Рис. 4. Архітектура автоенкодера

Згорткова нейронна мережа складається з вхідного та вихідного рівнів, а також кілька прихованих шарів. Приховані шари CNN зазвичай складаються із серії згорткових шарів, які згортаються з множенням або іншими скалярними добутками. Функція активації зазвичай являє собою шар RELU, за якими слідує додаткові згортки, такі як об'єднання шарів, пов'язаних повністю шарів і рівнів нормалізації, званих прихованими шарами, оскільки їх входи і виходи маскуються функцією активації та фінальна згортка. Математично це технічно ковзний скалярний добуток або взаємна кореляція.

MaxPooling: процес дискретизації на основі вибірки. Мета полягає в тому, щоб зменшити вибірку вхідного представлення (зображення, вихідну матрицю прихованого шару тощо), зменшивши його розмірність і дозволивши зробити припущення щодо функцій, що містяться в субрегіонах, що збираються.

BatchNormalization: нормалізація (зміщення вхідних даних до нульового середнього та одиничної дисперсії) часто використовується як етап попередньої обробки, щоб зробити дані порівнянними між функціями. Таким чином, це призводить до вищої швидкості навчання та кращої швидкості.

Dropout – це техніка, яка використовується для запобігання перенавчання.

Тестування програмного забезпечення.

Навчальний набір для тренування склали кольорові 3-канальні зображення розмірністю 64×64 пікселі (рис. 1). Загальна кількість тренувальних зображень становила 17 005 (кількісне розбиття на-

вчальних даних наведено на рис. 6). Зображення отримані в результаті польотів БЛА на певній місцевості. Програма підтримує всі формати цифрових зображень.

Layer	Output Shape
input_1 (InputLayer)	[(None, 64, 64, 3)]
conv_1 (Conv2D)	(None, 64, 64, 32)
batch_normalization	(None, 64, 64, 32)
conv_1_2 (Conv2D)	(None, 64, 64, 32)
batch_normalization_1	(None, 64, 64, 32)
pool_1 (MaxPooling2D)	(None, 32, 32, 32)
dropout (Dropout)	(None, 32, 32, 32)
conv_2 (Conv2D)	(None, 32, 32, 64)
batch_normalization_2	(None, 32, 32, 64)
conv_2_2 (Conv2D)	(None, 32, 32, 64)
batch_normalization_3	(None, 32, 32, 64)
pool_2 (MaxPooling2D)	(None, 16, 16, 64)
dropout_1 (Dropout)	(None, 16, 16, 64)
conv_3 (Conv2D)	(None, 16, 16, 128)
batch_normalization_4	(None, 16, 16, 128)
conv_3_2 (Conv2D)	(None, 16, 16, 128)
batch_normalization_5	(None, 16, 16, 128)
pool_3 (MaxPooling2D)	(None, 8, 8, 128)
dropout_2 (Dropout)	(None, 8, 8, 128)
conv_4 (Conv2D)	(None, 8, 8, 256)
batch_normalization_6	(None, 8, 8, 256)
conv_4_2 (Conv2D)	(None, 8, 8, 256)
batch_normalization_7	(None, 8, 8, 256)
pool_4 (MaxPooling2D)	(None, 4, 4, 256)
dropout_3 (Dropout)	(None, 4, 4, 256)
flatten (Flatten)	(None, 4096)
latent_feats (Dense)	(None, 1024)
dense (Dense)	(None, 11)

Рис. 5. Архітектура нейромережі класифікатору

Для проведення тренувань автоенкодера та згорткової нейронної мережі, було обрано мову програмування Python та середовище PyCharm. Вибір пояснюється багатим простором допоміжних засобів у роботі з моделями нейронних мереж. Загальний час тренування становив 8 годин та 30 хвилин, при кількості поколінь для автоенкодера – 50 (при проходженні одного покоління системі потрібно було приблизно 6 хвилин реального часу) та класифікатору – 50 поколінь.

Нормалізована метрика продуктивності класифікатора наведена на рис. 7.

Головне робоче вікно програмного забезпечення із завантаженим зображенням наведено на рис. 8. Для початку роботи, користувач обирає у діалоговому вікні тестове зображення для нарізання. Далі за-

даються параметри програми: ймовірність розпізнавання, розміри ковзного вікна у форматі «широта, висота». Користувач завантажує файл моделі мережі (*.h5) та обирає папку для зберігання розпізнаних сегментів. Сегментація відбувається як у ручному, так і в автоматичному режимі.

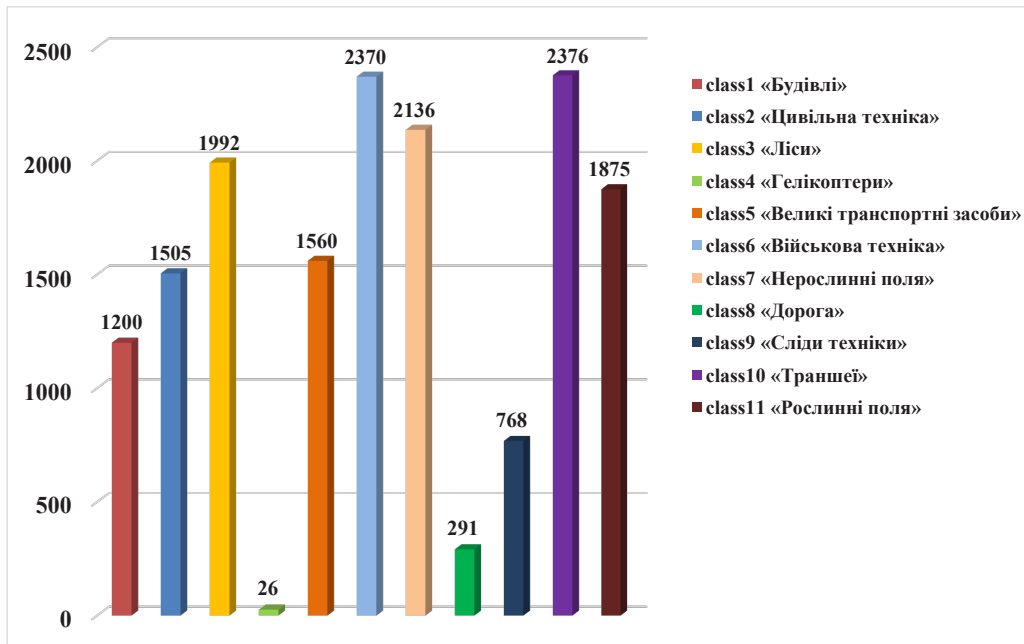


Рис. 6. Кількісне розбиття навчальних даних



Рис. 7. Нормалізована метрика продуктивності моделі класифікатора

У ручному режимі користувач за допомогою направлених стрілок на клавіатурі проходить по зображенню, нарізаючи вибрані сегменти. Програма виводить діалогове вікно з інформацією розпізнавання, надаючи можливість користувачу або погодитися з результатом, або відмовитися та самостійно вибрати результуючий клас.

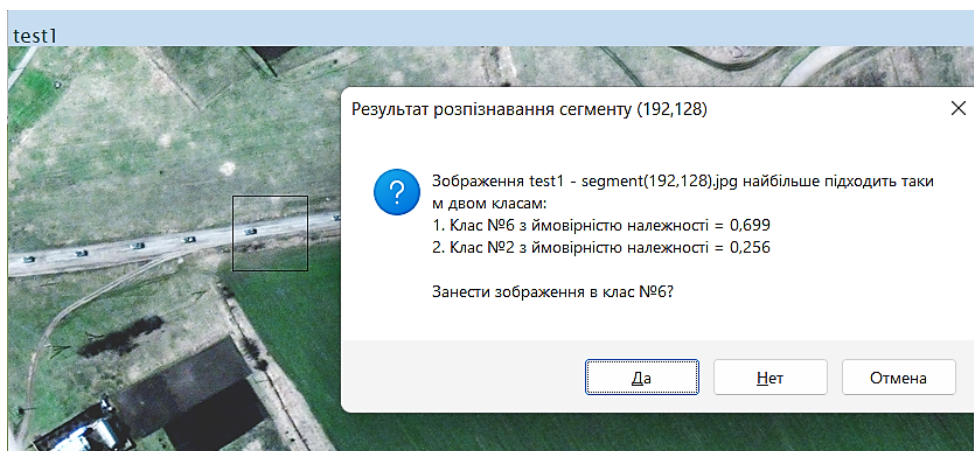


Рис. 8. Приклад роботи програмного забезпечення

У автоматичному режимі в залежності від вибраного розміру ковзного вікна відбувається повна сегментація зображення. При цьому нарізані сегменти класифікуються автоматично, без запиту користувача, опираючись на обране значення ймовірності. У результаті виводиться статистика по всім розпізнаним сегментам, як на рис. 7. Отримали відповідно співвідношення: 1 зображення – клас № 1 «Будівлі», 27 зображень – клас № 3 «Ліси», 1 зображення – клас № 5 «Великі транспортні засоби», 32 зображення – клас № 7 «Нерослинні поля», 10 зображень – клас № 8 «Дороги», 18 зображень – клас № 9 «Сліди техніки», 2 зображення – клас № 10 «Траншеї», 62 зображення – клас № 11 «Нерослинні поля». Всього 165 сегментів, з них відкинуто 12 (найбільш вірогідні класи цих сегментів мали ймовірність нижче заданого рівня).

При необхідності користувач може змінити розміри ковзного вікна сегментації, наприклад, для зменшення кількості об'єктів на сегменті.

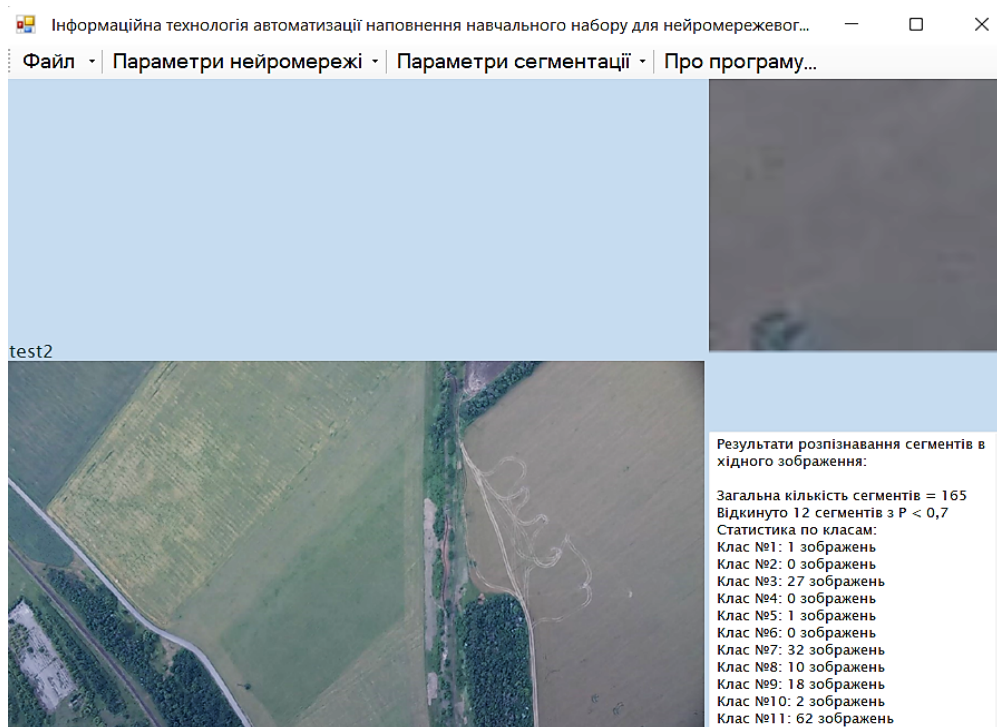


Рис. 9. Результати автоматичної сегментації тестового зображення

Процедура наповнення датасету

У ході тестування розробленої інформаційної технології для автоматизації наповнення навчального набору для неймережевого розпізнавання було подано 40 тестових зображень, узятих з відкритих інтернет-джерел в період з 24.02.22 по 23.05.22 (рис. 10). У результаті було отримано 2403 сегментів, розподілених по 11 класам, що становить приблизно 15 % від навчальних зображень. Результати точності роботи класифікатору подані на рис. 11.

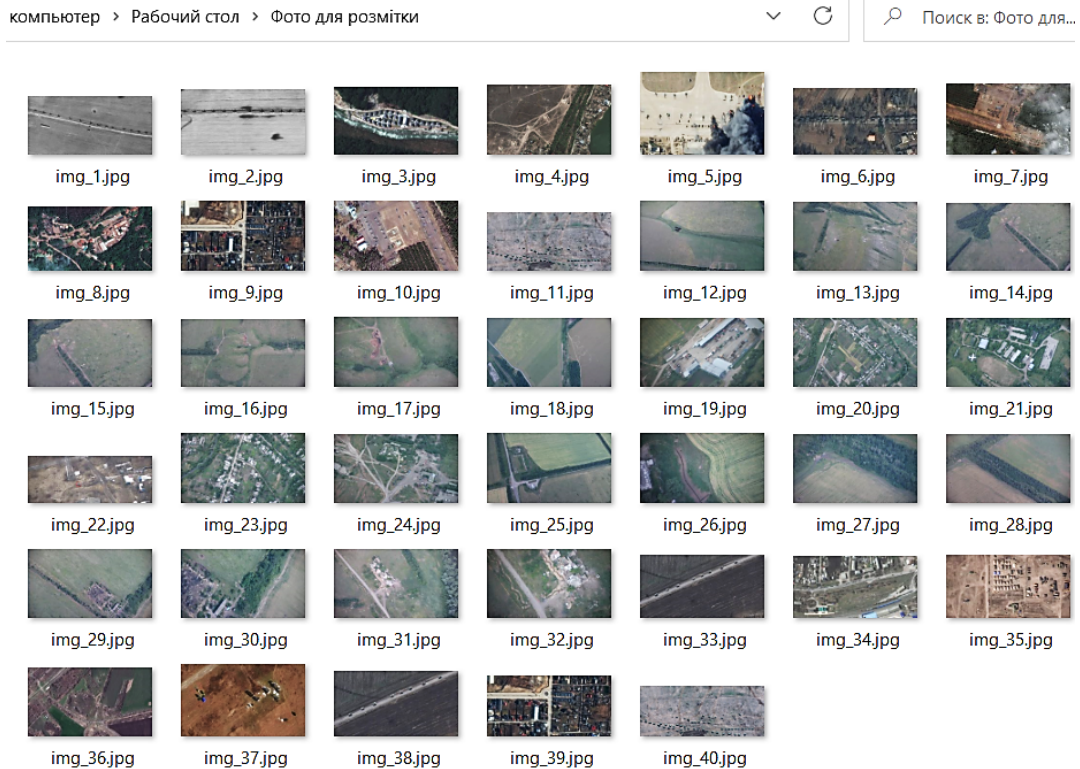


Рис. 10. Вхідні тестові зображення для сегментації

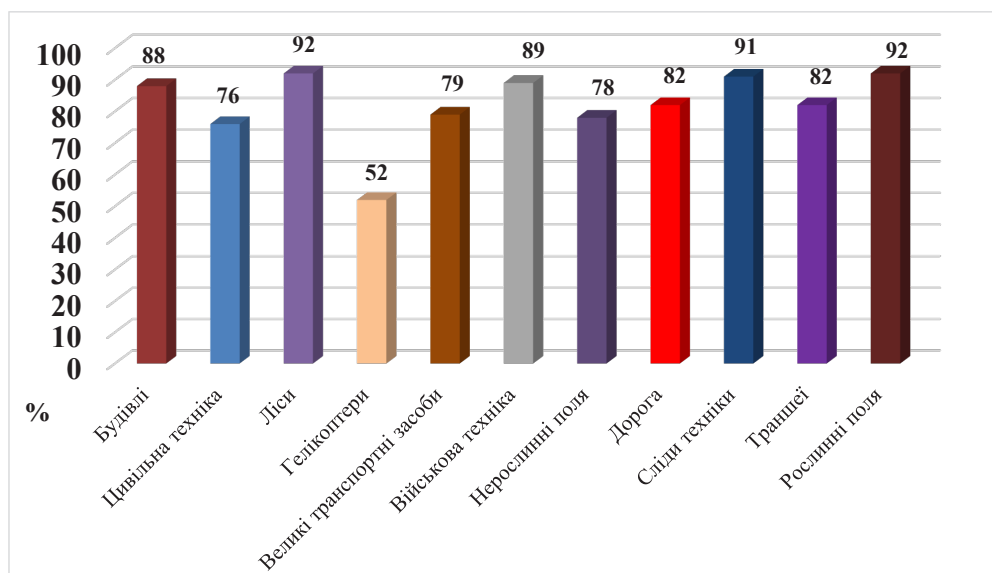


Рис. 11. Точність співвіднесених зображень після класифікації

Після процедури тестування ПЗ отримали поповнення датасету, загальна кількість зображень в ньому збільшилась до 19 408. Було проведено повторне навчання моделі, причому за збільшеної кількості поколінь.

Загальний час цього навчання становив приблизно 12 годин та 45 хвилин, при кількості поколінь для автоенкодера – 70 (при проходженні одного покоління системі потрібно було ~7 хвилин реального часу) та класифікатору – 70 поколінь.

Нормалізована метрика продуктивності оновленої моделі та точність співвіднесених зображень після класифікації за поповненим датасетом подано нижче (рис. 12, 13).

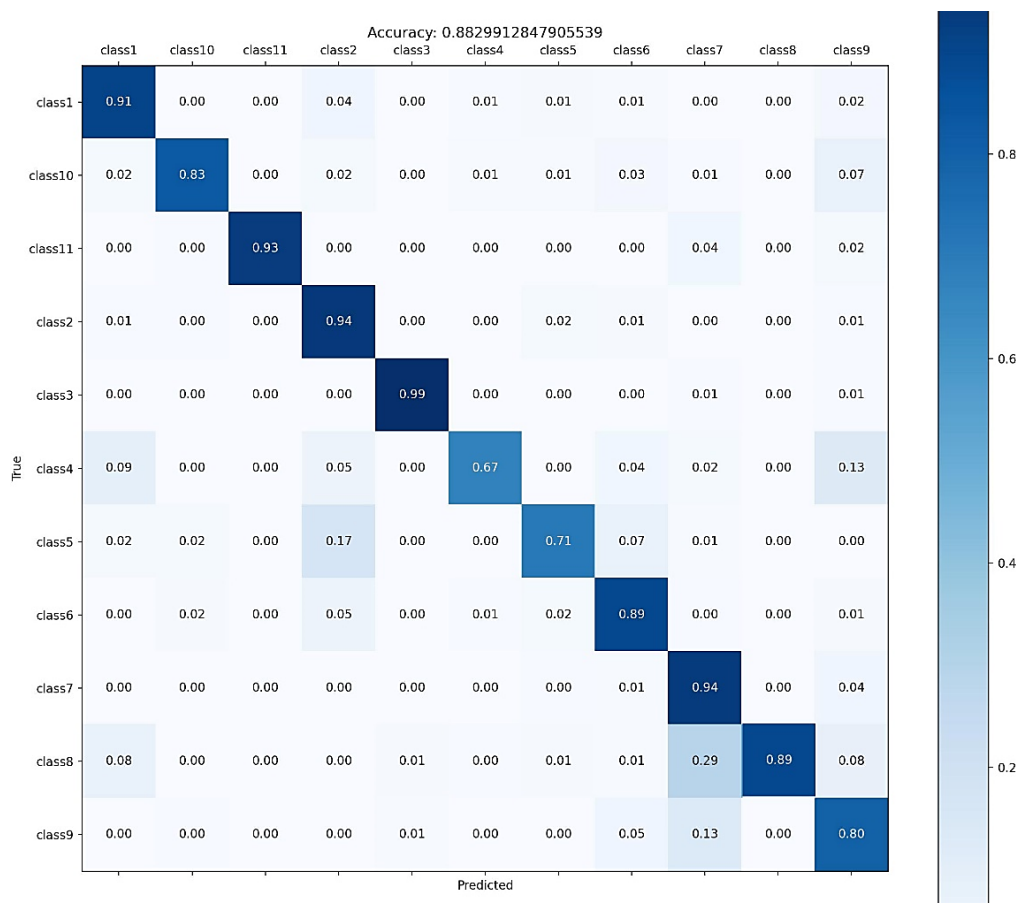


Рис. 12. Нормалізована метрика продуктивності оновленої моделі класифікатора

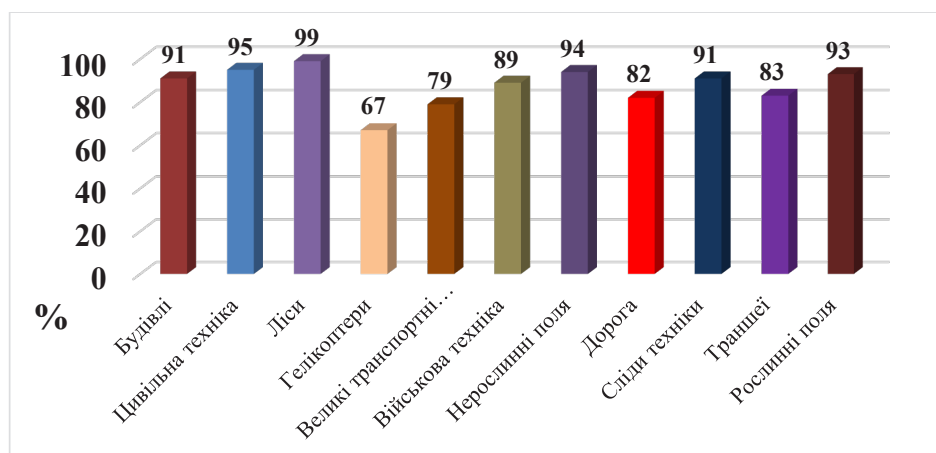


Рис. 13. Точність співвіднесених зображень після класифікації за поповненим датасетом

У кількісному відображенні збільшення одиниць зображень по класам має вигляд: клас № 1 «Будівлі» – 325 зображень, клас № 2 «Цивільна техніка» – 302 зображення, клас № 3 «Ліси» – 171 зображення, клас № 4 «Гелікоптери» – 30 зображень, клас № 5 «Великі транспортні засоби» – 45 зображень, клас № 6 «Танки» – 21 зображення, клас № 7 «Нерослинні поля» – 726 зображень, клас № 8 «Дорога» – 158 зо-

бражень, клас № 9 «Сліди техніки» – 245 зображень, клас № 10 «Траншеї» – 21 зображення, клас № 11 «Рослинні поля» – 338 зображень. У результаті поповнення датасету розглянемо порівняння точності потрапляння зображення у коректний клас (рис. 14).

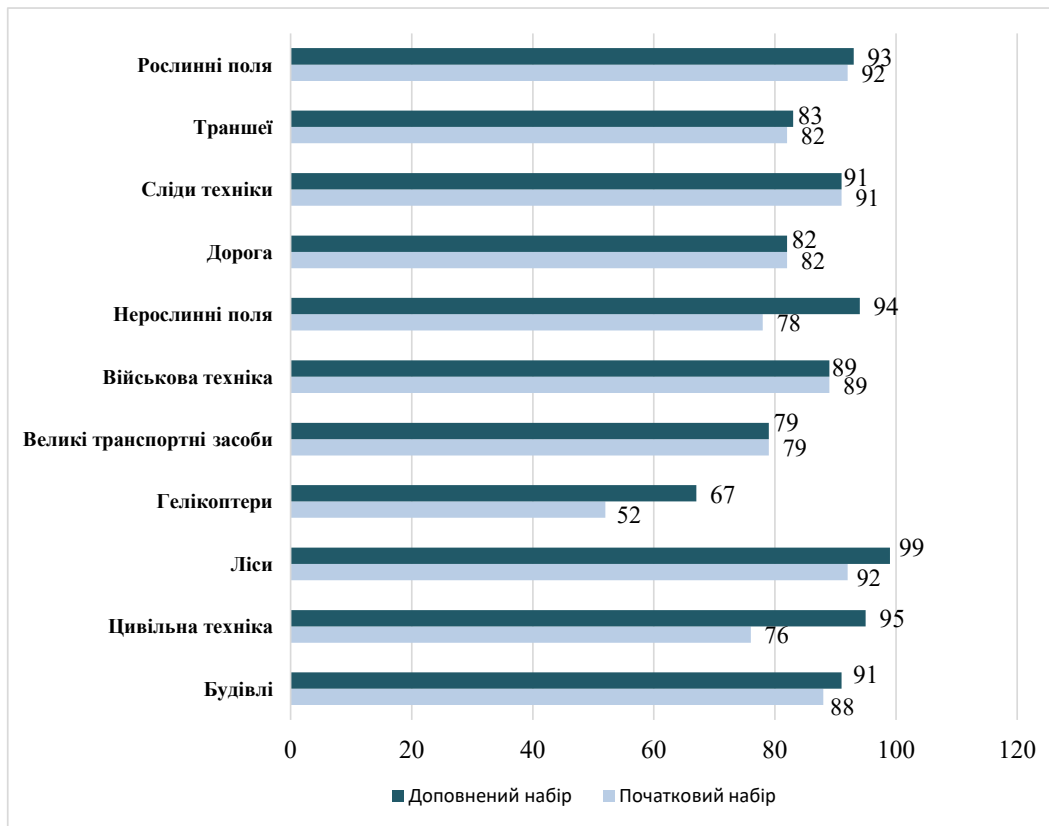


Рис. 14. Порівняння точності класифікації доповненого та початкового датасету

Висновки. В даній роботі наведено загальний план розробки інформаційної технології, зроблено опис використовуваної архітектури нейронної мережі, наведено основні положення реалізації програмного забезпечення, проведено тестування на реальних даних, проведено процедуру поповнення датасету шляхом тестування сегментації та класифікації тестових зображень, проведено перенавчання моделі та тестування класифікації на нових зображеннях, зроблено аналіз результатів.

При аналізі результатів було виявлено, що після поповнення датасету класифікованими програмою сегментами нових зображень середня якість класифікації підвищилася на 6 %, і при цьому по окремих класах спостерігався тренд до неспадання якості. При самій же класифікації сегментів спостерігалися в цілому високі цільові ймовірності приналежностей до класів, де найнижчі значення середніх ймовірностей виникали через малий розмір навчальної бази зображень даного класу.

Перспективою вдосконалення програмного комплексу може бути як уточнення класів навчальних даних, як наприклад, об'єднання в один схожих та/або менш релевантних за інші (в контексті множини, що розглядається) класів, так і застосування інших архітектур нейромережевого розпізнавання.

Список використаних джерел:

1. Chen Z., Xu B. and Gao B., "An image-segmentation-based urban DTM generation method using airborne lidar data", IEEE Journ. Select. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens., vol. 9 (1), pp. 496–506, January 2016.
2. Automated Object Recognition System based on Convolutional Autoencoder Prystavka P., Cholyskhina O., Dolgikh S., Karpenko D. 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2020 – Proceedings, 2020, pp. 830–833, 9208945.
3. Felzenszwalb P. F. and Huttenlocher D. P. "Efficient graph-based image segmentation", Int. Journ. Comp. Vision, vol. 59 (2), pp. 167–181, September 2004.
4. Marfil R., Molina-Tanco L., Bandera A., Rodriguez J. A. and Sandoval F., "Pyramid segmentation algorithms revisited", Pattern Recognition, vol. 39 (8), pp. 1430–1451, August 2006.
5. Huang X., Bai H. and Li S. "Automatic aerial image segmentation using a modified Chan-Vese algorithm", Proceedings of the 9th IEEE Conf. on Indust. Electr. Applic., pp. 1091–1094, June 2014.

6. Приставка П. О., Чолишкіна О. Г. Поліноміальні сплайни в задачі альтернативної навігації за даними аерозйомки. Монографія. – К. : Міжрегіональна Академія управління персоналом, 2022. – 128 с.
7. Kalal Z., Mikolaiczuk K. and Matas J. "Tracking-learning-detection", IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intel., vol. 34 (7), pp. 1409–1422, July 2012.
8. Krizhevsky A., Sutskever I. and Hinton G. E., "Imagenet classification with deep convolutional neural networks", Proc. Adv. Neural Inf. Proc. Syst. (NIPS), pp. 1097–1105. Lake Tahoe, Nevada, USA, 2012.
9. Latent Representations of Terrain in Aerial Image Classification Prystavka P., Dolgikh S., Cholyshkina O., Kozachuk O. CEUR Workshop Proceedingsthis link is disabled, 2021, 3013, pp. 86–95.
10. "Keras: The Python Deep Learning library", online: <https://keras.io/>
11. Gorban A. N., Kegl B., Wunsch D., Zinovyev A. Y. (Eds.), Principal Manifolds for Data Visualisation and Dimension Reduction, Series: Lecture Notes in Computational Science and Engineering 58, Springer, Berlin – Heidelberg – New York, 2007, XXIV, 340 p. 82 illus.
12. Електронний ресурс. <http://applmaths.nau.edu.ua/index.php>
13. Електронний ресурс. https://drive.google.com/file/d/1BAmSRbYUyCnrPYn-jpHI7l_6qsNmc9o6/view

References:

1. Chen, Z., Xu, B. and Gao, B., "An image-segmentation-based urban DTM generation method using airborne lidar data", IEEE Journ. Select. Topics Appl. Earth Observ. Remote Sens., vol. 9 (1), pp. 496–506, January 2016.
2. Automated Object Recognition System based on Convolutional Autoencoder Prystavka, P., Cholyshkina, O., Dolgikh, S., Karpenko, D. 2020 10th International Conference on Advanced Computer Information Technologies, ACIT 2020 – Proceedings, 2020, pp. 830–833, 9208945.
3. Felzenszwalb P. F. and Huttenlocher D. P. "Efficient graph-based image segmentation", Int. Journ. Comp. Vision, vol. 59 (2), pp. 167–181, September 2004.
4. Marfil, R., Molina-Tanco, L., Bandera, A., Rodriguez, J. A. and Sandoval, F., "Pyramid segmentation algorithms revisited", Pattern Recognition, vol. 39 (8), pp. 1430–1451, August 2006.
5. Huang, X., Bai, H. and Li, S. "Automatic aerial image segmentation using a modified Chan-Vese algorithm", Proceedings of the 9th IEEE Conf. on Indust. Electr. Applic., pp. 1091–1094, June 2014.
6. Prystavka P., Cholyshkina O. Polynomial splines in the problem of alternative navigation according to aerial photography. Monograph. – Kyiv : Interregional Academy of Personnel Management, 2022. – 128 p.
7. Kalal, Z., Mikolaiczuk, K. and Matas, J. "Tracking-learning-detection", IEEE Trans. Patt. Anal. Machine Intel., vol. 34 (7), pp. 1409–1422, July 2012.
8. Krizhevsky, A., Sutskever, I. and Hinton, G. E., "Imagenet classification with deep convolutional neural networks", Proc. Adv. Neural Inf. Proc. Syst. (NIPS), pp. 1097–1105. Lake Tahoe, Nevada, USA, 2012.
9. Latent Representations of Terrain in Aerial Image Classification Prystavka, P., Dolgikh, S., Cholyshkina, O., Kozachuk, O. CEUR Workshop Proceedingsthis link is disabled, 2021, 3013, pp. 86–95.
10. "Keras: The Python Deep Learning library", online: <https://keras.io/>
11. Gorban, A. N., Kegl, B., Wunsch, D., Zinovyev, A. Y. (Eds.), Principal Manifolds for Data Visualisation and Dimension Reduction, Series: Lecture Notes in Computational Science and Engineering 58, Springer, Berlin – Heidelberg – New York, 2007, XXIV, 340 p. 82 illus.
12. Internet resource: <http://applmaths.nau.edu.ua/index.php>
13. Internet resource: https://drive.google.com/file/d/1BAmSRbYUyCnrPYn-jpHI7l_6qsNmc9o6/view

УДК 004.4

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.13>

Ольга ЧОЛИШКІНА

кандидат технічних наук, доцент, директор Інституту комп'ютерно-інформаційних технологій, Міжрегіональна Академія управління персоналом, вул. Фрометівська, 2, Київ, Україна, індекс 03039 (greenhelga5@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-0681-0413

Дарина ЯРЕМЕНКО

здобувач, провідний фахівець Центру дистанційного навчання, Міжрегіональна Академія управління персоналом, вул. Фрометівська, 2, Київ, Україна, індекс 03039 (dashayaremenko17@gmail.com)

ORCID: 0000-0002-6294-9698

Валентин ЛЮДВИЧЕНКО

кандидат фізико-математичних наук, професор кафедри комп'ютерно-інформаційних технологій, Міжрегіональна Академія управління персоналом, вул. Фрометівська, 2, Київ, Україна, індекс 03039 (ljudo2@ukr.net)

Лариса КОМАРОВА

доктор технічних наук, старший науковий співробітник, професор, директор Навчально-наукового інституту інформаційної безпеки та стратегічних комунікацій, Національна академія Служби безпеки України, вулиця Михайла Максимовича, 22, Київ, Україна, індекс 03022 (komarova.it@journals.maup.kiev.ua)

ORCID: 0000-0002-9776-0879

Володимир БРОДКЕВИЧ

кандидат економічних наук, доцент кафедри комп'ютерно-інформаційних технологій, Міжрегіональна Академія управління персоналом, вул. Фрометівська, 2, Київ, Україна, індекс 03039 (v.brodkevych@gmail.com)

ORCID: 0000-0003-4282-8888

Olha CHOLYSHKINA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of Institute of computer information technologies, Interregional Academy of Personnel Management, Frometivska str., 2, Kyiv, Ukraine, postal code 03039 (greenhelga5@gmail.com)

Daryna YAREMENKO

Education Applicant, Leading Specialist of the Center for Distance Learning, Interregional Academy of Personnel Management, Frometivska str., 2, Kyiv, Ukraine, postal code 03039 (dashayaremenko17@gmail.com)

Valentin LJUDVICHENKO

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor at the Department of Computer and Information Technologies, Interregional Academy of Personnel Management, Frometivska str., 2, Kyiv, Ukraine, postal code 03039 (ljudo2@ukr.net)

Larisa KOMAROVA

Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Professor, Director of the Educational and Scientific Institute of Information Security and Strategic Communications, National Academy of the Security Service of Ukraine, Mykhailo Maksymovycha str., 22, Kyiv, Ukraine, postal code 03022 (komarova.it@journals.maup.kiev.ua)

Volodymyr BRODKEVYCH

Candidate of Economic Sciences, Associate Professor at the Department of Computer and Information Technologies, Interregional Academy of Personnel Management, Frometivska str., 2, Kyiv, Ukraine, postal code 03039 (v.brodkevych@gmail.com)

Бібліографічний опис статті: Чолишкіна, О., Яременко, Д., Людвиченко, В., Комарова, Л., Бродкевич, В. (2022). Розпізнавання облич на потоковому відеоряді за допомогою бібліотеки OpenCV. *Інформаційні технології та суспільство*, 2 (4), ?–?. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.13>

Bibliographic description of the article: Cholyshkina, O., Yaremenko, D., Ljudvichenko, V., Komarova, L., Brodkevych, V. (2022). Rozpiznavannya oblych na potokovomu videoryadi za dopomogoyu biblioteki OpenCV [Face recognition on streaming video using the OpenCV library]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information technology and society*, 2 (4), ?–?. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.13>

РОЗПІЗНАВАННЯ ОБЛИЧ НА ПОТОКОВОМУ ВІДЕОРЯДІ ЗА ДОПОМОГОЮ БІБЛІОТЕКИ OPENCV

Система розпізнавання облич – це технологія, здатна зіставляти людське обличчя з цифровим зображенням або відеокادром з базою даних осіб, зазвичай використовується для автентифікації користувачів за допомогою служб перевірки особистості, працює шляхом точного визначення і вимірювання рис обличчя по даному зображенню. Системи розпізнавання обличчя використовуються сьогодні в усьому світі урядами та приватними компаніями, їх ефективність різна, і деякі системи раніше були списані через їх неефективність. Отже, створення програми для розпізнавання людського обличчя є актуальною темою. Метою статті є дослідження теоретичних аспектів розробки системи розпізнавання людського обличчя та практична реалізація відповідного програмного комплексу.

Процедура розпізнавання обличчя просто вимагає, щоб будь-який пристрій, оснащений цифровою фотографічною технологією, генерував і отримував зображення та дані, необхідні для створення та запису біометричного малюнка обличчя людини, якого необхідно ідентифікувати.

Розглянуто основні методи розпізнавання обличчя: геометричні методи, метод головних компонент, метод гнучкого порівняння на графах, метод Віоли-Джонса, бінарні шаблони, нейронні мережі. Запропоновано реалізацію алгоритму роботи системи розпізнавання обличчя.

У даній роботі проаналізовано наявні алгоритми та системи виявлення та розпізнавання обличчя, зважені їх переваги та недоліки. Проаналізовано на практиці відсоток точності розпізнавання людського обличчя та продуктивність, враховуючи такі фактори як освітлення, якість зображення, кількість облич на зображенні, реалізовано розпізнавання облич людей з використанням локальних бінарних шаблонів (Local Binary Patterns – LBP) за допомогою бібліотеки комп'ютерного зору OpenCV.

Ключові слова: потоковий відеоряд, бази даних, розпізнавання образів, класифікація, комп'ютерний зір, Python, OpenCV, LBP.

FACE RECOGNITION ON A STREAMING VIDEO SERIES USING THE OPENCV LIBRARY

Face Detection System is a technology that can match a human face to a digital image or video frame to a database of individuals, commonly used to authenticate users through identity verification services, and works by accurately identifying and measuring facial features in a given image. Face recognition systems are used today by governments and private companies around the world, their effectiveness varies, and some systems have previously been written off due to their inefficiency. Thus, the creation of a program for human face recognition is a topical issue. The aim of the article is to study the theoretical aspects of the development of the human face recognition system and the practical implementation of the relevant software package.

The face recognition procedure simply requires that any device equipped with digital photographic technology generate and receive the images and data necessary to create and record a biometric image of the person to be identified.

The main methods of face recognition are considered: geometric methods, principal components method, flexible comparison method on graphs, Viola-Jones method, binary templates, neural networks. The implementation of the algorithm of the face recognition system is proposed.

This paper analyzes the existing algorithms and systems for face detection and recognition, weighing their advantages and disadvantages. The percentage of human face recognition accuracy and performance were analyzed in practice, taking into account such factors as lighting, image quality, number of faces in the image, human face recognition using Local Binary Patterns (LBP) using the OpenCV computer vision library.

Key words: video streaming, databases, image recognition, classification, computer vision, Python, OpenCV, LBP.

Постановка проблеми. У сучасному світі трекінг об'єктів на відео є невід'ємною частиною більшості прикладних задач, серед них: побудова систем відеоспостереження, відстеження транспортного та людського трафіку, автоматичний контроль. Кожна з них має свою особливість, вимоги до надійності розпізнавання, масштаб дії і т. д. Навіть такий фактор, як бажання самого об'єкта (в даному випадку людини) бути розпізнаним – може значно вплинути на роботу того чи іншого алгоритму розпізнавання.

У зв'язку з цим сучасне життя збільшує вимоги для все новіших і досконалих методів локалізації та розпізнавання людей. Інтерес до них досить значний, оскільки вони мають широке практичне застосування. До даних областей можна віднести охоронні системи, системи забезпечення безпеки в місцях масового перебування людей.

Автоматичний підрахунок числа людей необхідний не тільки в цілях суспільної безпеки. Його можна використовувати для оцінки числа відвідувачів, регулювання кількості відкритих кас, планування місць встановлення рекламних носіїв, у сфері організації роздрібною торгівлі.

Для ідентифікації людини використовуються біометричні методи. У зв'язку з простотою розпізнавання особи і великою кількістю камер у всіх аспектах життя людини, все більш актуальним стають розробки в розпізнаванні осіб. У зв'язку з даною затребуваністю розробкою алгоритмів розпізнавання осіб працюють великі компанії, але серед продуктів з відкритим вихідним кодом можна виділити OpenCV. Це бібліотека алгоритмів комп'ютерного зору, обробки зображень та чисельних алгоритмів загального призначення

Розпізнавання обличчя можна розбити на три пункти:

- 1) визначити особи в режимі реального часу;
- 2) порівняти знайдену особу з особами, що зберігаються в базі даних;
- 3) порівняти знайдену особу з еталонним в базі даних.

Але якщо людина може визначити і порівняти особу з особами, що зберігаються в пам'яті, за частки секунди, то без належної технології розпізнавання машина не зможе відрізнити людину від стовпа. Людина впізнає знайоме обличчя, орієнтуючись на індивідуальні риси, а саме відстань між очима, їх колір, висота губ, їх ширина. Для початку комп'ютер повинен не просто розпізнати людину, але і зрозуміти, що знаходиться перед ним, особа чи звичайний об'єкт. При тому ракурсі, з якого камера приймає обличчя людини, гра світла або ж зайві предмети на обличчі людини відіграють величезну роль.

У даній роботі розглядається розпізнавання обличчя людей з використанням локальних бінарних шаблонів (Local Binary Patterns – LBP). Оператор LBP може бути використаний для пошуку об'єкта на зображенні (наприклад особи), а також перевірки цього об'єкта на приналежність певного класу (верифікація, розпізнавання емоцій, статі по обличчю).

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Зараз відома велика кількість уже реалізованих методів для роботи систем розпізнавання за зображенням обличчя людини, звичайно в кожного є свої недоліки та переваги, які проявляються при певних факторах і немає одного найкращого. На даному етапі більшість систем розпізнавання обличчя застосовують при роботі все ті ж методи для обробки даних.

Технології розпізнавання осіб дозволяють виробляти автоматичний пошук і розпізнавання осіб в графічних файлах і відеопотоці. Як зазначено у статті [2], усі системи складаються з трьох програм: основне розпізнавання обличчя; faceId – збереження даних лиця; визначення – порівняння лиця з базою даних. У роботі [3] представлено підхід до розпізнавання обличчя на основі комбінованого каскаду нейромережних класифікаторів, методу головних компонент та згорткової нейронної мережі. Наведено результати експериментальних досліджень етапів виявлення, визначення ракурсу та розпізнавання обличчя. В роботі [4] розглянуто використання штучного інтелекту для розпізнавання обличчя у рамках роботи органів правопорядку; вони добиваються високої точності розпізнавання за допомогою використання дерев, які зберігають у собі перелік спеціальних ознак обличчя, потрібних для підвищення точності розпізнавання. Також, подано методи позбавлення зображення від шумів, тому що вони заважають у певній мірі досягати точності. У статті [5] представлений метод розпізнавання осіб з низькою роздільною здатністю, заснований на дискримінантному кореляційному аналізі (DCA). Пропонований метод обчислювально ефективний і може застосовуватися для складних додатків реального часу, таких як розпізнавання декількох осіб, що з'являються в перевантаженому кадрі відеоспостереження.

Аналізуючи існуючі методи, можна визначити загальний підхід для роботи при розпізнаванні, який складається з наступних етапів: створення бази даних осіб; подача на вході максимально якісного зображення/відеопотоку з обличчями; порівняння обличчя з наявними; ідентифікація обличчя.

Мета статті – опис розробленої системи розпізнавання обличчя в реальному часі за використанням бібліотеки OpenCV.

Виклад основного матеріалу. Розпізнавання обличчя є актуальним та використовується в багатьох сферах життя. Системи розпізнавання не потребують дороговартісного обладнання. Для прикладу розглянемо систему-контролера, що дозволяє або забороняє доступ особі до секретного об'єкту чи офісу. Необхідною умовою отримання зображення є наявність веб камери та реалізація завантаження зображення до спеціального програмного забезпечення. Програмне забезпечення оброблятиме отримані зображення та «вирішуватиме» згідно заданого методу та алгоритму роботи чи потрібно надати доступ певній особі. Алгоритм роботи таких систем часто повторюються, а от методи зазвичай суттєво відрізняються [5]. На даний час відомо та використовується велика кількість методів розпізнавання та їх модифікацій.

До основних методів розпізнавання обличчя належать: геометричні методи, метод головних компонент, метод гнучкого порівняння на графах, метод Віолі-Джонса, бінарні шаблони, нейронні мережі.

Геометричні методи. Геометричні методи були одними із перших методів розпізнавання обличчя, що полягають у виборі ключових точок на обличчі особи й формуванні набору ознак [7]. Дані точки

являються собою губи, ніс, кутики очей, центр ока тощо. Геометричні методи забезпечують низьку достовірність, але для їх використання не потрібно дорого обладнання.

Метод головних компонент (МГК). Метод зменшення розмірності даних при втраті найменшої кількості інформації. Широко застосовується в таких областях, як розпізнавання образів, комп'ютерний зір, стиснення даних тощо. Процес обчислення основних компонентів зводиться до обчислення власних векторів та власних значень підступної матриці вихідних даних або до сингулярного розкладання матриці даних [9]. МГК є статистичним і оперує не зображеннями, а векторами у лінійному просторі.

Метод гнучкого порівняння на графах. Метод гнучкого порівняння на графах полягає у еластичному зіставленні графів, що описують зображення облич. Особи представлені у вигляді графів зі зв'язаними вершинами та ребрами. Під час розпізнавання один з графів – еталонний – залишається незмінним, тоді як інший змінюється з метою найкращого припасування до першого. Деформація графа відбувається шляхом почергового зміщення кожної з його вершин на деяке відстань у певних напрямках щодо її вихідного розташування та вибору такої її позиції, при якій різниця між значеннями ознак у вершині деформованого графа та відповідної їй вершині еталонного графа буде мінімальною [12]. Ця операція виконується до того часу, доки знайдено мінімальну різницю між ознаками деформуючого і еталонного графів. Процедура виконується з усіма особами, які закладені в базу даних системи, внаслідок чого швидкість роботи алгоритму зростає пропорційно до розміру бази даних з особами.

Метод локальних бінарних шаблонів. Метод, що описує межі приймаючи значення інтенсивності центрального пікселя в якості порогу. Пікселі зі значенням інтенсивності більшими або рівними значенню інтенсивності центрального пікселя приймають значення «1» інші значення «0». В результаті використання методу локальних бінарних шаблонів значенням пікселя є восьмирозрядний бінарний код, який описує область навколо пікселя [8]. Перевагою даного методу є можливість роботи із обличчями з різною мімікою, освітленням, поворотами голови, масштабною. Серед недоліків є необхідність високоякісної попередньої обробки зображень.

Метод Віоли – Джонса. В основу методу Віоли – Джонса покладено: інтегральне подання зображення за ознаками Хаара, побудова класифікатора на основі алгоритму адаптивного бустингу та спосіб комбінування класифікаторів у каскадну структуру. Даний метод демонструє високу ефективність при вирішенні задачі пошуку об'єктів на зображеннях та відеоряді в режимі реального часу. Алгоритм Віоли – Джонса має низьку ймовірність помилкового виявлення обличчя. Метод дозволяє виявляти обличчя, що зафіксовані під кутом до 30°. Точність ідентифікації може досягати значень понад 90 %. Метод був розроблений у 2001 році, має велику кількість реалізацій і широко застосовується на практиці, як простий та ефективний [6]. Алгоритм Віоли-Джонса має реалізацію у вільно розповсюдженій бібліотеці OpenCV, що дозволяє використовувати цей алгоритм у системі відеоспостереження, що розробляється.

Нейронні мережі. Методи основані на використанні нейронних мереж дають одні з найкращих результатів розпізнавання образів. Така успішність досягається за допомогою використання згорткових нейронних мереж, що базуються на архітектурних рішеннях когнітрон та неокогнітрон. Даний метод характеризується стійкістю до змін масштабу, зсувів, поворотам, переміні ракурсу тощо. Результати тестувань показують рівень успішного розпізнавання та правильності рішення на рівні 96 % при дії спотворюючих факторів [11]. Основними недоліками даного методу є необхідність тренування нейронної мережі кожен раз коли необхідно додати нову особу для розпізнавання. Час тренування збільшується пропорційно кількості осіб в базі облич. Хоча недолік необхідності тренування мережі іноді є значущим, попри це даний метод являється одним з найефективніших на даний час.

Основні проблеми, пов'язані з розробкою систем розпізнавання осіб.

Кожне відображення будь-якого об'єкта на відеокамери, незалежно від його положення, прийнято називати зображенням об'єкта, а безлічі таких зображень, об'єднані певними загальними властивостями, являють собою образи. При вирішенні проблем, пов'язаних з розпізнаванням і ідентифікацією осіб по відеофіксації, в режимі реального часу, методами розпізнавання образів замість терміну «зображення» застосовують термін «стан». Стан можна визначити, як відображення вимірюваних поточних (або миттєвих) характеристик особи. Сукупність станів визначає ситуацію. Поняття «ситуація» є аналогом поняття «образ». Ситуацією прийнято називати деяку сукупність станів складного об'єкта, кожна з яких характеризується одними і тими ж або схожими характеристиками об'єкта [14]. Для того, щоб система ефективно розпізнавала і ідентифікувала особи по відео-фіксації в режимі реального часу необхідно враховувати різні фактори, які впливають на якість. Наведемо головні з них:

1. *Освітлення.* Особа має правильно розпізнаватися незалежно від місця розташування, кількості і інтенсивності джерел світла.

2. *Положення голови у просторі.* Залежно від майбутньої завдання розпізнавання, потрібна інваріантність до різних кутів повороту голови вправо-вліво або вгору-вниз. так, наприклад, в ідеальних умовах при пошуку людини в натовпі потрібна інваріантність до повороту голови до кута $\pm 90^\circ$.

3. *Фон.* Особа має розпізнаватися незалежно від заднього фону, він може бути як однорідним, так і довільним.

4. *Міміка особи.* Система повинна розпізнавати людину як у нейтральному стані так і з мікровиразами обличчя.

5. *Масштаб зображення особи.*

6. *Часткове заслонення* (окуляри, волосся, вуса, борода і т. д.).

Загальний опис реалізації програмного забезпечення. Розробка програмного забезпечення велась на інтерпретованій мові програмування Python з використанням бібліотеки OpenCV. Задача розпізнавання облич зіставила ряд завдань: створення бази осіб, проведення навчання класифікатору, вивід ідентифікації з точністю.

Оскільки в алгоритмі відбувається навчання класифікаторів, то потрібна підготовлена вибірка з позитивних та негативних зображень. Потрібно зауважити, що OpenCV постачається разом із тренажером, а також детектором. Дана бібліотека дозволяє створити власний класифікатор для навчання будь-яких об'єктів, наприклад автомобіль чи літак. Також OpenCV вже містить багато попередньо навчених класифікаторів для обличчя, очей, посмішки тощо.

OpenCV був розроблений для обчислювальної ефективності та з сильним акцентом на додатки реального часу. Отже, він ідеально підходить для розпізнавання обличчя в режимі реального часу за допомогою камери.

Створення бази даних осіб. Модуль програми face_taker.py містить алгоритм створення бази осіб. Користувач повинен ввести ідентифікатор, під номером якого буде збережено 30 фотографій. Саме завдяки їм в подальшому програма зможе розпізнавати конкретну людину.

Кожен раз, визначивши особу, алгоритм збереже зображення як Users.id.count.jpg, де id користувач вводить самостійно, а count – номер зображення. Як тільки алгоритм обробить 30 зображень, він завершить роботу.

Після завершення роботи буде створена база зображень, зображена на рисунку 1.

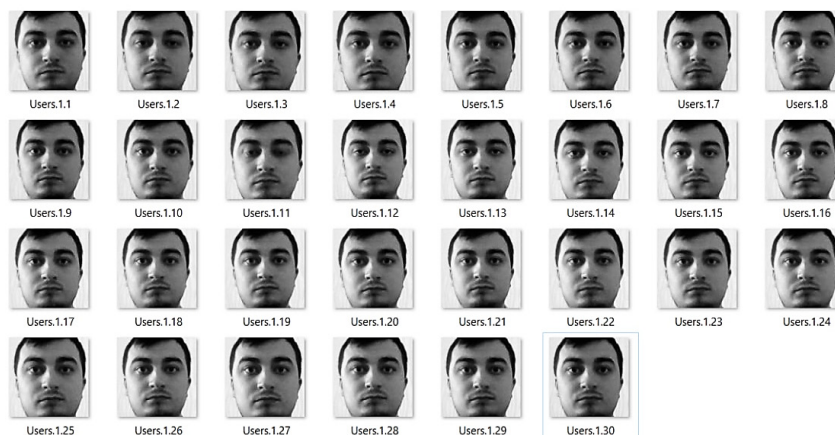


Рис. 1. Приклад бази зображень користувача

Варто зазначити, що алгоритм не ставить обмеження по кількості осіб наповнення бази даних.

Навчання класифікатору. В OpenCV використовуються три алгоритми розпізнавання облич: Eigenfaces, Fisherfaces, LBPH.

Кожен з цих алгоритмів підтримує навчання на основі заданого масиву зображень, передбачення знайденої особи, а також завантаження та збереження стану моделі у форматі XML або YAML. Алгоритм LBPH, який було обрано у даній роботі підтримує оновлення моделі, інакше кажучи, дозволяє оновлювати існуючу модель новими зображеннями. А це в свою чергу впливає на якість розпізнавання.

Ідентифікація особи. Тестування. Для ідентифікації облич осіб в реальному часу необхідно реалізувати доступ до веб-камери/відеопотоку. Доцільно використовувати функцію VideoCapture() простою OpenCV, яка обробляє читання відео. Класифікатор приймає в якості параметра захоплену частину обличчя і повертає ідентифікатор розпізнаної особи і ступінь точності розпізнавання в зв'язку з цим збігом (рис. 2).

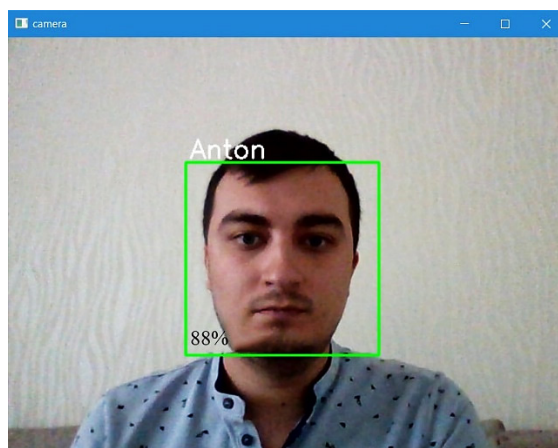


Рис. 2. Приклад виявлення особи

Згідно проведеного тестування, у середньому точність ідентифікації особи відповідає 89 %. Тестування проводилось на вибірці обсягом 400 зображень, зафіксованих з веб камери комп'ютера.

Висновки. В даній роботі проаналізовано наявні алгоритми та системи виявлення та розпізнавання облич, наведено основні положення реалізації програмного забезпечення, проведено тестування на реальних даних з інформуванням точності розпізнавання. Розроблена система може бути використана при вирішенні різних задач відео-аналітики, зокрема в системах контролю та ідентифікації особистості при включенні робочого комп'ютера, або надання доступу до онлайн конференції засідання ради директорів тощо. Досліджувана система має перспективи для подальшого розвитку, які передбачають реалізації більш ширшого списку алгоритмів.

Список використаних джерел:

1. Ahonen T., Hadid A., Pietikainen M. Face Description with Local Binary Patterns: Application to Face Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. 2006. Vol. 28. Issue 12. P. 2037–2041.
2. Andrew Heinzman. How Does Facial Recognition Work? URL: <https://www.howtogeek.com/427897/how-does-facial-recognition-work/>
3. Нейромережний підхід до комп'ютерного розпізнавання облич / І. О. Палій, А. О. Саченко, С. Г. Антошук, Т. О. Бурак. *Штучний інтелект*. 2010. No. 3. С. 378–387.
4. Error Rates in Users of Automatic Face Recognition Software / D. White, J. D. Dunn, A. C. Schmid, R. I. Kemp. *PLOS ONE*. 2015. Vol. 10 (10). Pp. 1–14. DOI: 10.1371/journal.pone.0139827
5. Haghighat M., Abdel-Mottaleb M. Low Resolution Face Recognition in Surveillance Systems Using Discriminant Correlation Analysis. 12th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2017). 2017. Pp. 912–917. DOI: 10.1109/FG.2017.130
6. Error Rates in Users of Automatic Face Recognition Software / D. White, J. D. Dunn, A. C. Schmid, R. I. Kemp. *PLOS ONE*. 2015. Vol. 10 (10). Pp. 1–14. Mode of access: DOI: 10.1371/journal.pone.0139827
7. About OpenCV. URL: <http://opencv.org/about.html>
8. Face Recognition by Elastic Bunch Graph Matching Laurenz Wiskott, Jean-Marc Fellous, Norbert Kruger and Christoph von der Malsburg. Computer Society Washington. DC, 1997. 23 p.
9. Fischer A., Bunke H. Character prototype selection for handwriting recognition in historical documents with graph similarity features : proc. 19th European Signal Processing Conference. 2011. Pp. 1435–1439.
10. Hiromichi Fujisawa, Yasuaki Nakano и Kiyomichi Kurino. «Segmentation methods for character recognition: from segmentation to document structure analysis». В: Proceedings of the IEEE 80.7 (1992), p. 1079–1092.
11. Gary Bradsky and Adrian Kaler. Learning OpenCV.
12. Maad M. M. Handwriting Recognition Methods. *IEEE Transactions on Signal Processing*. 2005. Pp. 1–3.
13. Брилюк Д. В., Старовойтов В. В. Распознавание человека по изображению лица нейросетевыми методами. Минск, 2002. 54 с.
14. Броневиц А. Н. Лекции по методам машинного обучения. URL: http://window.edu.ru/resource/800/73800/files/lect_Lepskiy.Bronevich_pass.pdf
15. Вежнев В., Дегтярева А. Обнаружение и локализация лица на изображении. *Компьютерная графика и мультимедиа*. 2003. № 1 (3).
16. Герасимов Б. М., Тарасов В. А., Токарев И. Б. Человеко-машинные системы принятия решений с элементами искусственного интеллекта. Київ : Наукова Думка, 1993. 184 с.
17. Згорткові нейронні мережі. 2017. URL: <http://ru.datasides.com/code/cnn-convolutional-neural-networks/>

References:

1. Ahonen, T., Hadid, A., Pietikainen, M. (2006). Face Description with Local Binary Patterns: Application to Face Recognition. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*. Vol. 28. Issue 12. P. 2037–2041. [in English]
2. Andrew Heinzman. How Does Facial Recognition Work? Retrieved from: <https://www.howtogeek.com/427897/how-does-facial-recognition-work/> [in English]
3. Pali, I. O., Sachenko, A. O., Antoshchuk, S. H., Burak, T. O. (2010). Neiromerezhnyi pidkhd do komp'iuternoho rozpoznavannia oblych [Neural network approach to computer face recognition]. *Shtuchnyi intelekt – Artificial Intelligence*, 3, 378–387. [in Ukrainian]
4. Error Rates in Users of Automatic Face Recognition Software / D. White, J. D. Dunn, A. C. Schmid, R. I. Kemp. *PLOS ONE*. (2015). Vol. 10 (10). Pp. 1–14. DOI: 10.1371/journal.pone.0139827 [in English]
5. Haghighat, M., Abdel-Mottaleb, M. (2017). Low Resolution Face Recognition in Surveillance Systems Using Discriminant Correlation Analysis. 12th IEEE International Conference on Automatic Face & Gesture Recognition (FG 2017), 912–917. DOI: 10.1109/FG.2017.130 [in English]
6. Error Rates in Users of Automatic Face Recognition Software / D. White, J. D. Dunn, A. C. Schmid, R. I. Kemp. *PLOS ONE*. 2015. Vol. 10 (10). Pp. 1–14. Mode of access: DOI: 10.1371/journal.pone.0139827 [in English]
7. About OpenCV. Retrieved from: <http://opencv.org/about.html> [in English]
8. Face Recognition by Elastic Bunch Graph Matching Laurenz Wiskott, Jean-Marc Fellous, Norbert Kruger and Christoph von der Malsburg. Computer Society Washington. DC, (1997). 23 p. [in English]
9. Fischer, A., Bunke, H. (2011). Character prototype selection for handwriting recognition in historical documents with graph similarity features : proc. 19th European Signal Processing Conference, 1435–1439. [in English]
10. Hiromichi, Fujisawa, Yasuaki, Nakano, Kiyomichi, Kurino (1992). «Segmentation methods for character recognition: from segmentation to document structure analysis». B: Proceedings of the IEEE 80.7, p. 1079–1092. [in English]
11. Gary, Bradsky and Adrian, Kaler. Learning OpenCV. [in English]
12. Maad, M. M. (2005). Handwriting Recognition Methods. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1–3. [in English]
13. Bryliuk, D. V., Starovoirov, V. V. (2002). Raspoznavanye cheloveka po yzobrazheniyu lytsa neirosetevymy metodamy [Recognition of a person from a facial image using neural network methods]. Mynsk. [in Russian]
14. Bronevych, A. N. Lektsyy po metodam mashynnoho obucheniya [Lectures on machine learning methods]. Retrieved from: http://window.edu.ru/resource/800/73800/files/lect_Lepskiy_Bronevich_pass.pdf [in Russian]
15. Vezhnevets, V., Dehtiarova, A. (2003). Obnaruzhenye y lokalyzatsiya lytsa na yzobrazheniy [Face detection and localization in an image]. *Kompiuternaia hrafyka y multymedya – Computer graphics and multimedia*, № 1 (3). [in Ukrainian]
16. Herasymov, B. M., Tarasov, V. A., Tokarev, Y. B. (1993). Cheloveko-mashynnye systemy pryniatia resheniy s elementamy yskusstvennoho yntellekta [Human-machine decision-making systems with elements of artificial intelligence]. Kyiv : Naukova Dumka. [in Russian]
17. Zghortkovi neuronni merzhi [Convolutional neural crests]. (2017). Retrieved from: <http://ru.datasides.com/code/cnn-convolutional-neural-networks/> [in Ukrainian]

УДК 330.47:004.056

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.14>

Віталій ЧУБАЄВСЬКИЙ

кандидат політичних наук, доцент, доцент кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки, Київський національний торговельно-економічний університет, вул. Кіото 19, Київ, Україна, індекс 02157 (chubaievskiy_vi@knute.edu.ua)

ORCID: 0000-0001-8078-2652

Альона ДЕЯТКО

доктор філософії «Комп'ютерні науки», доцент кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки, Київський національний торговельно-економічний університет, вул. Кіото 19, м. Київ, Україна, індекс 02157 (desyatko@knute.edu.ua)

ORCID: 0000-0002-2284-3418

Олена КРИВОРУЧКО

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри інженерії програмного забезпечення та кібербезпеки, Київський національний торговельно-економічний університет, вул. Кіото 19, м. Київ, Україна, індекс 02156 (kryvorchko_ev@knute.edu.ua)

ORCID: 0000-0002-7661-9227

Валерій ЛАХНО

доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки, Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оброни 16, Київ, Україна, індекс 03041 (lva964@nubip.edu.ua)

ORCID: 0000-0001-5725-5942

Дмитро КАСАТКІН

кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки, Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оброни 16, Київ, Україна, індекс 03041 (lva964@nubip.edu.ua)

ORCID: 0000-0002-2642-8908

Андрій БЛОЗВА

кандидат педагогічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки, Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оброни 16, Київ, Україна, індекс 03041 (andriy.blozva@nubip.edu.ua)

ORCID: 0000-0002-4377-0916

Максим МІСЮРА

кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри комп'ютерних систем, мереж та кібербезпеки, Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оброни 16, Київ, Україна, індекс 03041 (mdm@nubip.edu.ua)

ORCID: 0000-0002-9061-3462

Vitaliy CHUBAIEVSKYI

Candidate of Political Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Software Engineering and Cybersecurity, Kyiv National University of Trade and Economics, 19 Kioto str., Kyiv, Ukraine, postal code 02157 (chubaievskiy_vi@knute.edu.ua)

Alona DESIATKO

PhD in Computer Sciences, Associate Professor at the Department of Software Engineering and Cybersecurity, Kyiv National University of Trade and Economics, 19 Kioto str., Kyiv, Ukraine, postal code 02157 (desyatko@knu.edu.ua)

Olena KRYVORUCHKO

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Software Engineering and Cybersecurity, Kyiv National University of Trade and Economics, 19 Kioto str., Kyiv, Ukraine, postal code 02156 (kryvoruchko_ev@knu.edu.ua)

Valerii LAKHNO

Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Computer Systems, Networks and Cyber Security, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 16 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine, postal code 03041 (lva964@nubip.edu.ua)

Dmytro KASATKIN

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Computer Systems, Networks and Cyber Security, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 16 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine, postal code 03041 (d.kasatkin@nubip.edu.ua)

Andrii BLOZVA

Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Computer Systems, Networks and Cyber Security, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 16 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine, postal code 03041 (andriy.blozva@nubip.edu.ua)

Maxim MISIURA

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Computer Systems, Networks and Cyber Security, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 16 Heroiv Oborony Str., Kyiv, Ukraine, postal code 03041 (mdm@nubip.edu.ua)

Бібліографічний опис статті: Чубаєвський, В., Десятко, А., Криворучко, О., Лахно, В., Касаткін, Д., Блозва, А., Місюра, М. (2022). Застосування СППР у завданнях організаційно-економічного забезпечення захисту інформації. *Інформаційні технології та суспільство*, 2 (4), 100–109. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.14>

Bibliographic description of the article: Chubaievskiy, V., Desiatko, A., Kryvoruchko, O., Lakhno, V., Kasatkin, D., Blozva, A., Misiura, M. (2022). Zastosuvaniia SPPR u zavdanniah organizaciyno-economichnogo zabezpechennia zakhystu inphormacii [Application of decision support systems in the task of organizational and economic support of information protection]. *Informatsiini tekhnolohii ta suspilstvo – Information technology and society*, 2 (4), 100–109. DOI: <https://doi.org/10.32689/maup.it.2022.2.14>

ЗАСТОСУВАННЯ СППР У ЗАВДАННЯХ ОРГАНІЗАЦІЙНО-ЕКОНОМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ

Безперервне організаційно-економічне забезпечення процедур інформаційної безпеки (ІБ) компанії може мінімізувати бізнес-ризик, максимізувати віддачу від інвестицій, полегшити можливості для бізнесу, підвищити комерційний імідж та конкурентні переваги компанії. Для забезпечення ефективного захисту інформаційних ресурсів компанії (ІНР) та стабільного управління інформаційною безпекою компанії повинні не тільки періодично виконувати оцінку інформаційної безпеки, а й постійно аналізувати процеси для своїх корпоративних інформаційних систем. Описано модель організаційно-економічного забезпечення ефективного захисту корпоративної інформації шляхом формалізації процедур формалізації завдання оптимізації системи захисту інформації (СЗІ). При цьому, на відміну від існуючих підходів, акцент у запропонованому рішенні робиться на математико-алгоритмічну та комп'ютерну підтримку процедури прийняття рішень у контексті завдань менеджменту інформаційної безпеки компанії. Пропоновані доповнення разом із традиційними підходами дають можливість стороні захисту максимально ефективно, визначати параметри організаційного управління інфраструктурою СЗІ підприємства. Розглянуто контур системи підтримки прийняття рішень (СППР) у процесі розвитку інфраструктури системи захисту інформації компанії. В умовах дефіциту кваліфікованих експертів у галузі інформаційної безпеки компаній, запропоновано доповнення моделі. Дані доповнення дозволяють врахувати вплив кадрових ресурсів експертів у питаннях ІБ на управління інфраструктурою СЗІ компанії. Запропоновано рекомендації та описано відповідне прикладне програмне забезпечення – СППР. Застосування цієї системи підтримки прийняття рішень сприятиме мінімізації ризиків, пов'язаних з відсутністю кваліфікованих експертів з інформаційної безпеки у багатьох компаніях.

Ключові слова: захист інформації, інформаційна безпека, організаційно-економічне забезпечення, управління інфраструктурою, система підтримки прийняття рішень, мінімізація ризиків.

APPLICATION OF DSS IN THE TASKS OF ORGANIZATIONAL AND ECONOMIC PROVISION OF INFORMATION PROTECTION

Continuous organizational and economic support of the company's information security procedures (IS) can minimize business risks, maximize return on investment, facilitate business opportunities, increase the company's commercial image and competitive advantage. To ensure effective protection of information resources of the company (IR) and stable management of information security, companies must not only periodically perform information security assessments but also constantly analyze the processes for their corporate information systems. The model of organizational and economic support of effective protection of corporate information by formalizing the procedures of formalizing the task of optimizing the information protection system (IPS) is described. In this case, in contrast to existing approaches, the emphasis in the proposed solution is on mathematical-algorithmic and computer support of the decision-making procedure in the context of the tasks of information security management of the company. The proposed additions, together with traditional approaches, enable the defense party to determine the parameters of organizational management of the IPS infrastructure of the enterprise as effectively as possible. The outline of the decision support system (DSS) in the process of developing the infrastructure of the company's information protection system is considered. In the conditions of shortage of qualified experts in the field of information security of companies, additions to the model are proposed. These additions allow taking into account the impact of human resources of IS experts on the management of the company's IPS infrastructure. Recommendations are offered and the corresponding application software – DSS is described. The application of this decision support system will help minimize the risks associated with the lack of qualified information security experts in many companies.

Key words: information protection, information security, organizational and economic support, infrastructure management, decision support system, risk minimization.

В умовах глобалізації, кооперації, конкуренції жодна компанія (незалежно від сфери діяльності) не обходиться без розвиненої структури інформаційних технологій та систем (далі, відповідно, IT та IC), що забезпечують успішність та оперативність, як прийняття окремих управлінських рішень, так і ефективність бізнес процесів компанії загалом.

Динамічний зростання IT-інфраструктури компаній давно подолав перший етап традиційного зростання масштабів комплексів апаратно-програмних засобів, задіяних для автоматизації збору, зберігання, обробки, передачі та отримання інформації. У сучасних умовах пріоритетними стали не стільки кількість і якість IT та IC, які використовуються в бізнес-процесах суб'єктів господарської діяльності, скільки достовірність та повнота інформації, що сприяють прийняттю оптимальних управлінських рішень. На зміну традиційним IC для великих компаній прийшли корпоративні інформаційні системи (далі – КІС). Проте, стрімкий розвиток IT та IC компаній породило таку гостру проблему як забезпечення інформаційної безпеки (далі – ІБ) компаній та збереження їх інформаційних ресурсів (далі – ІНР). Застосування атакуючої стороною все більш складних методів реалізації сценаріїв кібернетичних атак призвело до того, що будь-яка КІС вже на момент початку її функціонування вимагає процесу вживання відповідних заходів, спрямованих на захист корпоративної інформації. Отже, кожне підприємство має забезпечувати високий рівень захисту комерційної інформації, цілісність своїх ІНР [1].

Безперервне організаційно-економічне забезпечення процедур ІБ компанії може мінімізувати бізнес-ризик, максимізувати віддачу від інвестицій, полегшити можливості для бізнесу, підвищити комерційний імідж та конкурентні переваги компанії [1; 2]. Для забезпечення ефективного захисту ІНР та стабільного управління ІБ компанії повинні не тільки періодично виконувати оцінку ІБ, а й постійно аналізувати процеси для своїх КІС.

Світовий досвід незаперечно доводить, що просте збільшення чисельності засобів і заходів захисту інформації (далі – ЗІ) який завжди дають відчутний ефект [2]. Більше того, у низці ситуацій [3] реалізація такого сценарію лише підвищує завантаженість персоналу, який займається питаннями інформаційної безпеки компанії. Більше того, помилки при плануванні ресурсів, які виділяються на забезпечення ІБ компаній, призводять до того, що дорогий захист ІНР з малою цінністю або значущістю для бізнес-процесів фактично виливається на економічну шкоду. Такі збитки можуть бути не завжди фінансово очевидними. У ряді випадків розміри репутаційної шкоди у рази перевищують втрати фінансові від втрати інформації [4]. Те саме можна сказати про недостатньо ефективний захист цінних ІНР компаній. Наприклад, за даними [5] наявність у компанії витоків важливої інформації, яка використовується в бізнес-процесах, обсягах >20 % може призвести до того, що з ймовірністю 60 % компанія стане банкрутом. Більше того, за даними [5; 6] понад 90 % компаній, які були позбавлені доступу до власних ІНР на терміни >10 днів, з високою ймовірністю припиняли свою економічну діяльність.

Резюмуючи вище сказане – існує певна суперечність. Так, з одного боку, суттєві витрати на систему захисту інформації – є обов'язковою складовою витрат практично всіх суб'єктів господарської діяльності. А з іншого боку, так само необхідне і вирішення завдання, пов'язаного з оптимізацією витрат на побудову ефективної СЗІ та організацію ефективних процесів у КІС. Зроблені висновки та визначають

релевантність цього дослідження, спрямованого на вдосконалення методів та моделей організаційної підтримки процесів управління IT-інфраструктурою у СЗІ компаній.

Огляд і аналіз літератури. У працях [7; 8] показано, що зростаюча інтенсивність і ускладнення сценаріїв проведення кібернетичних атак роблять актуальними не тільки перманентне вдосконалення апаратно-програмних комплексів СЗІ, але і диктують необхідність вживання інших заходів. До таких заходів, зокрема, належать і заходи, спрямовані на вдосконалення організаційно-економічного забезпечення ефективного захисту корпоративної інформації суб'єктів господарської діяльності. На думку [9; 10] необхідно надати стороні захисту ефективні інтелектуальні системи, здатні полегшити досить рутинну роботу з управління ІБ підприємств.

Необхідність оперативного прийняття рішень, пов'язаних з організаційно-економічним забезпеченням та менеджментом захисту корпоративної інформації, зробила перспективними дослідження з розвитку систем підтримки прийняття рішень (СППР) [11; 12] у цій галузі. У цих працях, а також у працях [13; 14] показано, що в рамках створення подібних СППР відповідний розвиток отримують нові методи, моделі, алгоритми та прикладне програмне забезпечення, що використовується для вирішення подібних завдань. Автори розглянутих праць, однак не наводять вагомих аргументів, що доводять ефективність широкого застосування подібних СППР для більшості суб'єктів господарської діяльності.

Досвід застосування СППР у завданнях менеджменту ІБ окремих компаній розглянуто в [15; 16]. Проте, як зазначено у [16; 17] існуючі комерційні СППР у завданнях забезпечення ІБ компаній мають закритий характер. Автори констатують, що придбання окремими невеликими компаніями такого класу СППР пов'язане із значними фінансовими витратами. Існуючі на ринку прикладного ПЗ некомерційні СППР у завданнях ІБ не володіють достатньою функціональністю [17].

Як показано в [18; 19; 20], проблематика комплексного впровадження СППР у завдання організаційно-економічного забезпечення ефективного захисту корпоративної інформації в контексті завдань менеджменту ІБ системно не розглядалися.

Більше половини всіх кібератак націлені на невеликі підприємства та підприємства [21]. Незважаючи на таку гнітючу статистику, як показано в [22], значна частина менеджменту малих та середніх компаній продовжує вважати, що ІБ це зайва стаття витрат. Не менш важливо, що ця думка частково заснована і на тлі дефіциту кваліфікованого кадрового потенціалу, який займається ІБ. Таким чином, невеликі компанії мають більше проблем при моніторингу ефективності ІБ. Як показано [23; 24] звичайною практикою таких невеликих компаній стало застосування формальних та складних процедур, орієнтованих на передбачення та прогнозування інцидентів з ІБ.

Враховуючи висновки, зроблені авторами в [13; 15; 17; 18; 19; 20; 24], залишається невирішеною проблема системної імплементації інтелектуальних СППР у завдання організаційно-економічного забезпечення та менеджменту ІБ компаній. Математико-алгоритмічна та комп'ютерна підтримка процедури прийняття рішень та якісна експертна оцінка дозволяють вирішувати завдання організаційно-економічного забезпечення ефективного захисту корпоративної інформації у контексті завдань менеджменту ІБ найбільш ефективно. Таким чином, концептуально інноваційні підходи можуть базуватись на парадигмі комплексного впровадження СППР у завданнях організаційно-економічного забезпечення ефективного захисту корпоративної інформації у контексті завдань менеджменту ІБ компаній. Вище зазначені причини роблять тематику нашого дослідження актуальним. На наш погляд, доцільно зосередити увагу на питаннях впровадження подібних систем підтримки прийняття рішень у невеликих компаніях, де ситуація з ІБ є найбільш критичною.

Мета роботи та завдання дослідження. Мета роботи – розвиток моделі організаційно-економічного забезпечення та менеджменту ІБ компаній.

Для досягнення мети роботи необхідно вирішити такі завдання:

- розробити модель організаційно-економічного забезпечення та менеджменту інформаційної безпеки компаній з урахуванням мінімізації ризиків, пов'язаних із відсутністю кваліфікованих експертів з інформаційної безпеки;
- розробити та протестувати систем підтримки прийняття рішень для організаційно-економічного забезпечення та менеджменту інформаційної безпеки компаній, які дозволить стороні захисту раціонально використовувати методи та системи захисту інформації.

Методи та моделі. У [25; 26] наголошується, що в умовах глобальної цифровізації економіки багато компаній зіткнулися з дефіцитом кваліфікованих фахівців з кібербезпеки. І якщо більшу частину загроз ІІР вдається блокувати апаратно-технічними системами захисту інформації, то питання організаційно-економічного забезпечення ефективного захисту корпоративної інформації доводиться вирішувати аналітикам з інформаційної безпеки. І тут багато залежить від кваліфікації та досвіду ро-

бота конкретного спеціаліста. На наш погляд, може виявитися досить ефективним напрямом, пов'язаний із широким впровадженням у практику вирішення завдань з організаційно-економічного забезпечення систем захисту корпоративної інформації інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень, див. рис. 1.

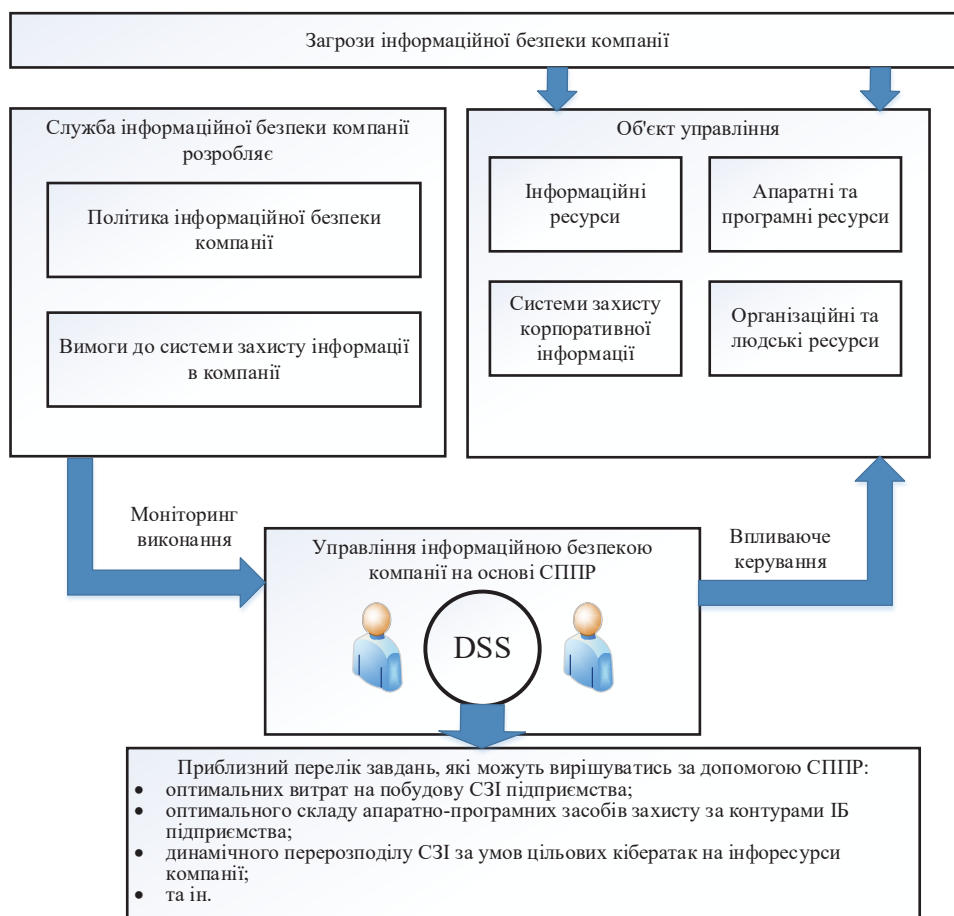


Рис. 1. Структурна схема СППР у задачах забезпечення ІБ компанії

Такі систему здатні взяти на себе виконання досить рутинних та трудомістких розрахунково-аналітичних завдань, пов'язаних, наприклад, з оптимізацією дозволу окремих СЗІ за контурами ІБ компанії. Також такого роду СППР дозволять оперативно приймати рішення при перерозподілі СЗІ за умов динамічного протистояння атакуючій стороні [27; 28; 31–33].

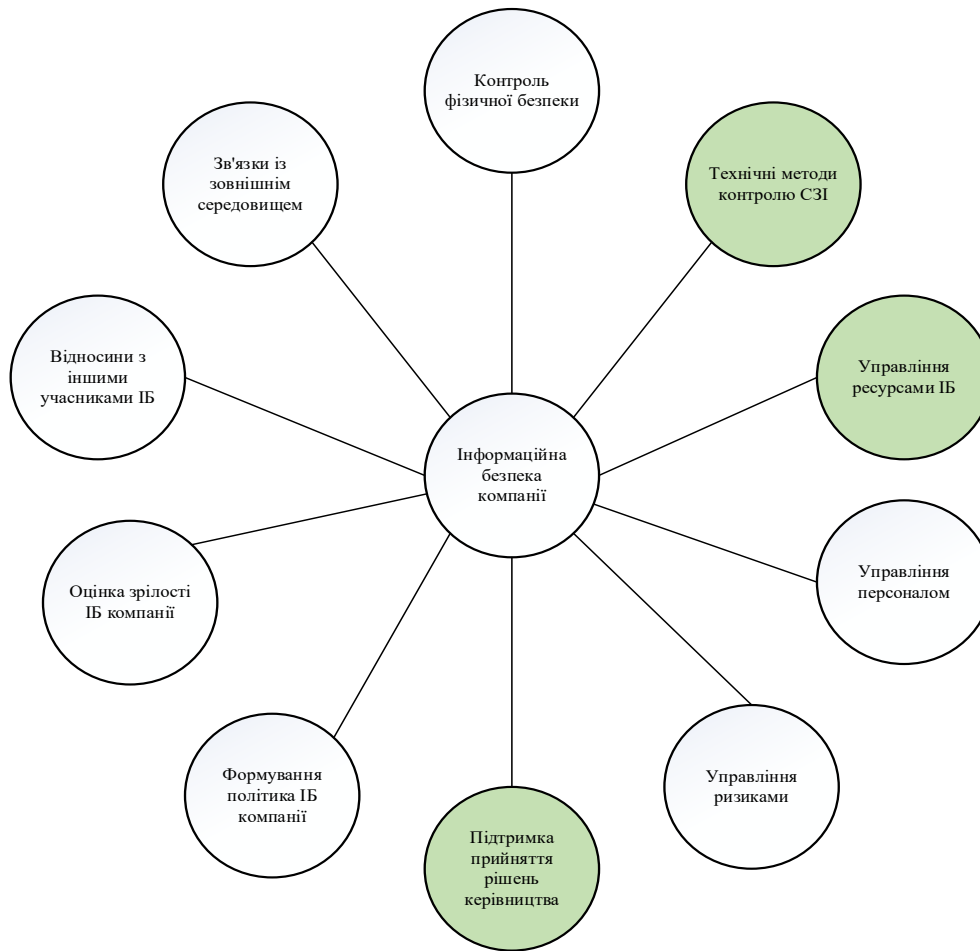
Імплементация СППР, наприклад, структуру моделі ISP $10 \times 10M$ [27; 28], сприятиме ефективнішої реалізації рекомендацій щодо забезпечення ІБ компанії (див. рис. 2). На рис. 2 показані фактори ІБ відповідно до моделі ISP $10 \times 10M$. Ті фактори, для яких може бути задіяний потенціал СППР, показані із зеленою заливкою.

Загальноприйнятою практикою у системі управління ІБ (далі СУІБ) компанії є делегування частини завдань, які вимагають досить високої кваліфікації, зовнішнім експертам. Однак такий підхід стає не таким ефективним, коли йдеться про необхідність проведення техніко-економічних розрахунків у завданнях забезпечення ІБ підприємства.

Наприклад, до таких завдань можна віднести багатокритеріальні оптимізаційні завдання, пов'язані з пошуком:

- оптимальних витрат на побудову СЗІ компанії;
- оптимального складу апаратно-програмних засобів захисту за контурами ІБ підприємства;
- динамічного перерозподілу СЗІ за умов цільових кібератак на ІНР компанії.

У таких ситуаціях, на наш погляд, доцільно перекласти рутинні розрахунки та пошук математичних рішень, зазначених оптимізаційних завдань, на СППР. При такому підході процеси аналізу даних аудиту ІБ та результатів математико-економічного моделювання за допомогою СППР, а в ряді випадків та прогнозування ризиків, надається керівництву компанії.



**Рис. 2. Структурна схема моделі ISP 10 × 10M
(фактори для яких рекомендується використання СППР, відзначені зеленим кольором)**

У міру зростання кількості та ускладнення сценаріїв проведення атак, ІБ стає одним із основних управлінських завдань менеджменту компаній. Це з тим що доводиться розглядати управління складної системою. Причому неправильні рішення щодо ІБ компанії можуть призвести до зниження продуктивності всіх бізнес-процесів. Коли фахівці в галузі ІБ компанії компетентні та здатні забезпечити високий рівень безпеки та захисту інформації, вони здебільшого діють ефективно та при вирішенні завдань планування та інвестиційної діяльності в ІБ. Таким чином, загальна ефективність бізнес-процесів компанії найчастіше залежить від узгодженості між плануванням ІБ та бізнес-плануванням.

Розв'язання задач, пов'язаних з оптимізацією СЗІ компанії включає такі етапи [14; 28]:

- 1) визначити параметри організаційного управління ІТ-інфраструктурою та СЗІ;
- 2) мінімізувати витрати на побудову СЗІ;
- 3) вибрати оптимальний розмір інвестицій СЗІ компанії;
- 4) виключити (або мінімізувати) можливості витоків інформації у компанії.

Обчислювальне ядро СППР здатне взяти він всі розрахунки з пошуку локальних чи глобальних екстремумів цільових функцій.

Наприклад, пошуку вирішення задачі мінімізації фінансових витрат на СЗІ можна використовувати функцію виду:

$$C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} \cdot \alpha_{ij} + \sum_{i=1}^n C_i \cdot \beta_i \rightarrow \min, \quad (1)$$

$$i = \overline{1, n}; \quad j = \overline{1, m}$$

при дотриманні наступних граничних умов:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_j \cdot m_{ij} \cdot \alpha_{ij} \geq PL_{dc}, \quad \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} = 1, \forall j \in J, \quad (2)$$

$$\sum_{j=1}^m k_{ij} = 1, \alpha_{ij} \in \{0;1\}, \beta_{ij} \in \{0;1\},$$

де C_{ij} – розмір витрат на захист j -го ресурсу за допомогою i -го СЗІ; C_i – розмір витрат на безлічі ІНР за допомогою i -го СЗІ; $I=\{i_1, \dots, i_n\}$; $J=\{j_1, \dots, j_m\}$ – відповідно, безліч СЗІ у компанії та безліч ІНР, які підлягають захисту; m_{ij} – оцінка ефективності захисту j -го ресурсу за допомогою i -го СЗІ; s_j – коефіцієнт важливості j -го ресурсу при комплексній оцінці СЗІ підприємства; α_{ij} – бінарна величина, якщо $\alpha_{ij}=1$ то i -е СЗІ обрано для захисту j -го ресурсу, $\alpha_{ij}=0$, то i -е СЗІ використовується для захисту тільки від потенційних загроз; β_i – двійкове значення, якщо $\beta_i=1$ тоді i -е ІПС можна використовувати, якщо $\beta_i=0$, то ні; PL_{cd} – рівень захисту при витратах на СЗІ у розмірі (C) та погрозах (D).

Якщо йдеться про необхідність максимізувати рівень захисту ІНР компанії, то можна використовувати таку цільову функцію:

$$PL_c = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m s_j \cdot m_{ij} \cdot \alpha_{ij} \rightarrow \max, \quad (3)$$

при дотриманні наступних граничних умов:

$$C = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} \cdot \alpha_{ij} + \sum_{i=1}^n C_i \cdot \beta_i \leq C_d, \sum_{i=1}^n \alpha_{ij} = 1, \forall j \in J, \quad (4)$$

$$\alpha_{ij} \in \{0;1\}, \beta_{ij} \in \{0;1\}.$$

Висока динаміка зміни ландшафту кібернетичних загроз та зовнішнього середовища для сучасних компаній, що будують багато своїх бізнес-процесів на застосуванні ІТ та ІС, диктує свої особливості у питанні формування кадрової політики щодо фахівців, що займаються ІБ. Метою даного дослідження не є детальне вивчення проблеми ефективності використання кадрового потенціалу ІБ у компаніях. Ми лише хочемо наголосити, що це, як і раніше, залишається маловивченим і вимагає пильної уваги керівників компаній.

У загальному вигляді безліч, що формалізує дефіцит кадрових ресурсів в області ІБ компанії можна так:

$$PE = \{J, Pr, M, D\}, \quad (5)$$

де J – безліч ІНР компанії які вимагають уваги з боку персоналу в контексті ІБ; Pr – безліч властивостей, якими повинен мати співробітник, який займається питаннями ІБ для конкретних ІНР; M – мотивація до постійного підвищення рівня професійної кваліфікації; D – безліч загроз, що вимагають реагування співробітника, який має високу кваліфікацію.

Зрозуміло, дана формалізація моделі не враховує всі аспекти проблеми дефіциту кадрів фахівців з ІБ компаній, проте вона ілюструє важливість завдання включення до контуру бізнес процесів інтелектуальних СППР, готових прийняти на себе частину досить рутинної роботи, яку доводиться виконувати персоналу у повсякденній практиці забезпечення ІБ компанії. Окремого моделювання та оцінки потребує і процедура розгляду актуальних загроз та ризиків, пов'язаних із реалізацією цих загроз. Описані вище моделі було реалізовано у ряді програмних продуктів. Наприклад, у СППР "DSS investing in cybersecurity" [29; 30].

СППР DSS investing in cybersecurity призначений для вибору в режимі онлайн оптимальних стратегій інвестування в засоби ІБ компанії. Це завдання вирішується в контексті підвищення захищеності КІС компаній за допомогою інноваційних технологій, що ґрунтуються на використанні інтелектуальних систем підтримки прийняття рішення в контурах захисту КІС.

Не ставлячи пріоритетом даного дослідження розвиток комплексу моделей для вирішення багато-критеріальних оптимізаційних завдань, пов'язаних із забезпеченням ІБ компанії, зауважимо, що вирішення цих завдань може бути ефективним лише на основі синергетичного поєднання досвіду експертів і кібернетичного моделювання. Але в сукупності це забезпечує оперативне прийняття рішень щодо забезпечення ІБ компанії.

Обговорення. Якщо покласти на СППР вирішення завдань, пов'язаних з оптимізацією СЗІ, то фахівцям з ІБ усередині компанії можна зосередитись на вирішенні організаційних завдань.

До таких завдань, наприклад, відносяться заходи щодо резервного копіювання даних; ізоляції найбільш чутливих до загроз інформаційних систем; безпечне та надійне знищення пристроїв та даних; централізованого управління системою та управління конфігурацією та ін. Також зауважимо, що спеціалістам з ІБ у самій компанії набагато простіше ніж зовнішнім спеціалістам відстежити персонал, який має зловмисні мотиви. Не потрібна допомога СППР та при вирішенні завдань, пов'язаних з мотивацією та готовністю співробітників брати участь у процесах навчання з ІБ.

СППР також може бути ефективною при аналізі та оцінці ризиків, планів забезпечення безперервності бізнесу та реагування на інциденти, а також для підвищення оперативності процедур відновлення КІС.

Дані математико-економічного моделювання з допомогою СППР передаються менеджменту підприємства прийняття рішень на стратегічному рівні управління ІБ. Основним завданням керівництва у такій ситуації стає забезпечення розумного підходу до формування політики ІБ. Успішність реалізації політики ІБ вимагає безперервної вертикальної та горизонтальної комунікації та координації потреб усіх зацікавлених сторін – фахівців з ІБ, мережевих адміністраторів, менеджменту та ін. Таким чином, організаційно-економічне забезпечення ефективного захисту корпоративної інформації стає невід'ємною частиною процедур управління ІБ. Такий синергетичний підхід демонструє адекватний рівень зрілості ІБ компанії. Застосування СППР можна назвати та розвивати як окрему бізнес-функцію ІБ. Причому ця бізнес функція разом із традиційними підходами дозволить більш оперативно виявляти слабкі ланки ІБ компанії.

Висновки. Набула подальшого розвитку модель, яка описує процедуру формалізації завдання оптимізації системи захисту інформації (СЗІ) суб'єкта господарської діяльності (компанії). На відміну від існуючих підходів, акцент на даному дослідженні, зроблений на математико-алгоритмічну та комп'ютерну підтримку процедури прийняття рішень у питаннях організаційно-економічного забезпечення ефективного захисту корпоративної інформації в контексті завдань менеджменту інформаційної безпеки (ІБ) компанії.

Пропонований підхід дає можливість стороні захисту максимально ефективно, визначати параметри організаційного управління інфраструктурою СЗІ компанії. Розглянуто контур СППР у процесі розвитку інфраструктури СЗІ підприємства. В умовах дефіциту кваліфікованих експертів у галузі ІБ компанії, запропоновано доповнення до існуючих математичних моделей. Запропоновані доповнення дозволяють врахувати вплив кадрових ресурсів експертів у питаннях ІБ на управління інфраструктурою СЗІ компанії. Запропоновано рекомендації та описано відповідне прикладне програмне забезпечення – СППР. Застосування цієї СППР сприятиме мінімізації ризиків, пов'язаних з відсутністю кваліфікованих експертів з ІБ у багатьох компаніях.

Список використаних джерел:

1. Кузнецова Н. В. (2014). Деякі аспекти мінімізації інформаційних ризиків у банківській діяльності. Системні дослідження та інформаційні технології, (1), 7–19.
2. Гордієнко Н., & Дмитро М. (2019). Захист великих даних та мінімізація ризиків втрати інформації. Логос. Онлайн. <https://www.ukrlogos.in.ua/10.11232-2663-4139.04.32.html>
3. Al-Moshaigeh A., Dickins D., & Higgs J. L. (2019). Cybersecurity Risks and Controls: Is the AICPA's SOC for Cybersecurity a Solution? The CPA Journal, 89 (6), 36–41.
4. Amir E., Levi S., & Livne T. (2018). Do firms underreport information on cyber-attacks? Evidence from capital markets. Review of Accounting Studies, 23 (3), 1177–1206.
5. Erokhin Sergey & Petukhov Andrey & Pilyugin Pavel. (2021). Comparison of Information Security Systems for Asymptotic Information Security Management Critical Information Infrastructures. 89–95. 10.23919/FRUCT50888.2021.9347608
6. Alhayani B., Abbas S. T., Khutar D. Z., & Mohammed H. J. (2021). Best ways computation intelligent of face cyber attacks. Materials Today: Proceedings.
7. Dogaru D. I., & Dumitrache I. (2019). Cyber attacks of a power grid analysis using a deep neural network approach. Journal of Control Engineering and Applied Informatics, 21 (1), 42–50.
8. Krundyshev V., & Kalinin M. (2019, September). Hybrid neural network framework for detection of cyber attacks at smart infrastructures. In Proceedings of the 12th International Conference on Security of Information and Networks (pp. 1–7).
9. Цвілій О. О. (2014). Безпека інформаційних технологій: сучасний стан стандартів ISO27k системи управління інформаційною безпекою. Телекомунікаційні та інформаційні технології, (2), 73–79.
10. Sarker I. H., Kayes A. S. M., Badsha S., Alqahtani H., Watters P., & Ng A. (2020). Cybersecurity data science: an overview from machine learning perspective. Journal of Big data, 7 (1), 1–29.
11. Akhmetov B., Lakhno V., Akhmetov B., & Alimseitova Z. (2018, September). Development of sectoral intellectualized expert systems and decision making support systems in cybersecurity. In Proceedings of the Computational Methods in Systems and Software (pp. 162–171). Springer, Cham.
12. Naseer H., Maynard S. B., & Desouza K. C. (2021). Demystifying analytical information processing capability: The case of cybersecurity incident response. Decision Support Systems, 143, 113476.
13. Couce-Vieira A., Insua D. R., & Kosgodagan A. (2020). Assessing and forecasting cybersecurity impacts. Decision Analysis, 17 (4), 356–374.
14. Adla Abdelkader & Frendi Mohammed. (2021). A Decision Support System for Commercial Lending. 326–331. DOI: 10.1109/DASA53625.2021.9682296
15. Хох В. Д., Мелешко Є. В., & Смірнов О. А. (2017). Дослідження методів аудиту систем управління інформаційною безпекою. Системи управління, навігації та зв'язку, (1), 38–42.

16. Donaldson S. E., Siegel S. G., Williams C. K., & Aslam A. (2015). Measuring a Cybersecurity Program. In *Enterprise Cybersecurity* (pp. 213–229). Apress, Berkeley, CA.
17. Ekstedt M., Johnson P., Lagerström R., Gorton D., Nydrén J., & Shahzad K. (2015). Securi cad by foreseeti: A cad tool for enterprise cyber security management. In *2015 IEEE 19th International Enterprise Distributed Object Computing Workshop* (pp. 152–155). IEEE.
18. Radziwill N. M., & Benton M. C. (2017). Cybersecurity cost of quality: Managing the costs of cybersecurity risk management. *arXiv preprint arXiv: 1707.02653*.
19. Al-Dhahri S., Al-Sarti M., & Abdul A. (2017). Information security management system. *International Journal of Computer Applications*, 158 (7), 29–33.
20. Lakhno V. A. (2017). Development of a support system for managing the cyber security. *Radio Electronics, Computer Science, Control*, (2), 109–116. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2017-2-12>
21. Business Advantage. The State of Industrial Cybersecurity 2017. 2017. Available: <https://go.kaspersky.com/rs/802-IJN-240/images/ICSWHITE PAPER.pdf>
22. Senseon. The State of Cyber Security-SME Report 2019. 2019. Available: https://www.cbronline.com/wp-content/uploads/dlm_uploads/2019/08/
23. Cassar G., & Gibson B. (2007). Forecast rationality in small firms. *Journal of Small Business Management*, 45 (3), 283–302.
24. Chang S. E., & Ho C. B. (2006). Organizational factors to the effectiveness of implementing information security management. *Industrial Management & Data Systems*.
25. Burrell D. N. (2020). An exploration of the cybersecurity workforce shortage. In *Cyber Warfare and Terrorism: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications* (pp. 1072–1081). IGI Global.
26. Ohta T., Takenaka M., Katou M., Masuoka R., Kayama K., Fukushima N., & Imai H. (2018). Cybersecurity solutions for major international events. *FUJITSU SCIENTIFIC & TECHNICAL JOURNAL*, 54 (4), 57–65.
27. Prislán K., Mihelič A., & Bernik I. (2020). A real-world information security performance assessment using a multidimensional socio-technical approach. *PloS one*, 15 (9), e0238739.
28. Bernik I., & Prislán K. (2016). Measuring information security performance with 10 by 10 model for holistic state evaluation. *PloS one*, 11 (9), e0163050.
29. Akhmetov B., Lakhno V., Yagaliyeva B., Kydyralina L., Oshanova N., Adilzhanova S. Conceptual Diagram of an Intelligent Decision Support System in the Process of Investing in Cybersecurity Systems, (2021) *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, 99 (18), pp. 4297–4310.
30. Lakhno V., Malyukov V., Kasatkin D., Blozva A., Zhyrova T., Kotenko N., Kotova M. Model for Supporting Decisions of Investors, Taking into Consideration Multifactoriality and Turnover, (2021) *Communications in Computer and Information Science*, 1388 CCIS, pp. 525–535.
31. Bebesko B., Khorolska K., Kotenko N., Kharchenko O., & Zhyrova T. (2021). Use of neural networks for predicting cyberattacks. Paper presented at the *CEUR Workshop Proceedings*, 2923, 213–223.
32. Lakhno V., Akhmetov B., Ydyryshbayeva M., Bebesko B., Desiatko A., Khorolska K. (2021) Models for Forming Knowledge Databases for Decision Support Systems for Recognizing Cyberattacks. In: Vasant P., Zelinka I., Weber G. W. (eds) *Intelligent Computing and Optimization. ICO 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing*, vol. 1324. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68154-8_42
33. Khorolska K., Lazorenko V., Bebesko B., Desiatko A., Kharchenko O., Yaremych V. (2022) Usage of Clustering in Decision Support System. In: Raj J. S., Palanisamy R., Perikos I., Shi Y. (eds) *Intelligent Sustainable Systems. Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 213. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2422-3_49

References:

1. Kuznyetsova, N. V. (2014). Deyaki aspekty minimizatsiyi informatsiynykh ryzykiv u bankivskiy diyal'nosti. [Some points of minimizing informational risks in banking]. *System research and information technologies*, (1), 7–19. [in Ukrainian]
2. Gordienko, N., & Dmitry, M. (2019). Zakhyst velykykh danykh ta minimizatsiya ryzykiv vtraty informatsiyi [Big Data Protection And Minimization of Risks of Loss of Information]. *λόροσ*. online. (<https://www.ukrlogos.in.ua/10.11232-2663-4139.04.32.html>). [in Ukrainian]
3. Al-Moshaigeh, A., Dickens, D., & Higgs, J. L. (2019). Cybersecurity Risks and Controls: Is the AICPA's SOC for Cybersecurity a Solution? *The CPA Journal*, 89 (6), 36–41.
4. Amir, E., Levi, S., & Livne, T. (2018). Do firms underreport information on cyber-attacks? Evidence from capital markets. *Review of Accounting Studies*, 23 (3), 1177–1206.
5. Erokhin, Sergey & Petukhov, Andrey & Pilyugin, Pavel. (2021). Comparison of Information Security Systems for Asymptotic Information Security Management Critical Information Infrastructures. 89–95. 10.23919/FRUCT50888.2021.9347608
6. Alhayani, B., Abbas, S. T., Khutar, D. Z., & Mohammed, H. J. (2021). Best ways computation intelligent of face cyber attacks. *Materials Today: Proceedings*.
7. Dogaru, D. I., & Dumitrache, I. (2019). Cyber attacks of a power grid analysis using a deep neural network approach. *Journal of Control Engineering and Applied Informatics*, 21 (1), 42–50.
8. Krundyshv, V., & Kalinin, M. (2019, September). Hybrid neural network framework for detection of cyber attacks at smart infrastructures. In *Proceedings of the 12th International Conference on Security of Information and Networks* (pp. 1–7).

9. Tsviliy, O. O. (2014). Bezpeka informatsiynykh tekhnolohiy: suchasnyy stan standartiv ISO27k systemy upravlinnya informatsiynoyu bezpekoyu. [Information security: the current state of ISO27k standards of information security management system]. Telecommunication and Information Technologies, (2), 73–79. [in Ukrainian]
10. Sarker, I. H., Kayes, A. S. M., Badsha, S., Alqahtani, H., Watters, P., & Ng, A. (2020). Cybersecurity data science: an overview from machine learning perspective. Journal of Big data, 7 (1), 1–29.
11. Akhmetov, B., Lakhno, V., Akhmetov, B., & Alimseitova, Z. (2018, September). Development of sectoral intellectualized expert systems and decision making support systems in cybersecurity. In Proceedings of the Computational Methods in Systems and Software (pp. 162–171). Springer, Cham.
12. Naseer, H., Maynard, S. B., & Desouza, K. C. (2021). Demystifying analytical information processing capability: The case of cybersecurity incident response. Decision Support Systems, 143, 113476.
13. Couce-Vieira, A., Insua, D. R., & Kosgodagan, A. (2020). Assessing and forecasting cybersecurity impacts. Decision Analysis, 17 (4), 356–374.
14. Adla, Abdelkader & Frendi, Mohammed. (2021). A Decision Support System for Commercial Lending. 326–331. DOI: 10.1109/DASA53625.2021.9682296
15. Hoch, V. D., Meleshko, E. V., & Smirnov, O. A. (2017). Doslidzhennya metodiv audytu system upravlinnya informatsiynoyu bezpekoyu. [Research of methods of audit of information security management systems]. Control, Navigation and Communication Systems, (1), 38–42. [in Ukrainian]
16. Donaldson, S. E., Siegel, S. G., Williams, C. K., & Aslam, A. (2015). Measuring a Cybersecurity Program. In Enterprise Cybersecurity (pp. 213–229). Apress, Berkeley, CA.
17. Ekstedt, M., Johnson, P., Lagerström, R., Gorton, D., Nydrén, J., & Shahzad, K. (2015). Securi cad by foreseeti: A cad tool for enterprise cyber security management. In 2015 IEEE 19th International Enterprise Distributed Object Computing Workshop (pp. 152–155). IEEE.
18. Radziwill, N. M., & Benton, M. C. (2017). Cybersecurity cost of quality: Managing the costs of cybersecurity risk management. arXiv preprint arXiv: 1707.02653.
19. Al-Dhahri, S., Al-Sarti, M., & Abdul, A. (2017). Information security management system. International Journal of Computer Applications, 158 (7), 29–33.
20. Lakhno, V. A. (2017). Development of a support system for managing the cyber security. Radio Electronics, Computer Science, Control, (2), 109–116. <https://doi.org/10.15588/1607-3274-2017-2-12>
21. Business Advantage. The State of Industrial Cybersecurity 2017. 2017. Available: https://go.kaspersky.com/rs/802-IJN-240/images/ICSWHITE_PAPER.pdf
22. Senseon. The State of Cyber Security-SME Report 2019. 2019. Available: https://www.cbronline.com/wp-content/uploads/dlm_uploads/2019/08/White_paper_1.pdf%0A
23. Cassar, G., & Gibson, B. (2007). Forecast rationality in small firms. Journal of Small Business Management, 45 (3), 283–302.
24. Chang, S. E., & Ho, C. B. (2006). Organizational factors to the effectiveness of implementing information security management. Industrial Management & Data Systems.
25. Burrell, D. N. (2020). An exploration of the cybersecurity workforce shortage. In Cyber Warfare and Terrorism: Concepts, Methodologies, Tools, and Applications (pp. 1072–1081). IGI Global.
26. Ohta, T., Takenaka, M., Katou, M., Masuoka, R., Kayama, K., Fukushima, N., & Imai, H. (2018). Cybersecurity solutions for major international events. FUJITSU SCIENTIFIC & TECHNICAL JOURNAL, 54 (4), 57–65.
27. Prislán, K., Mihelič, A., & Bernik, I. (2020). A real-world information security performance assessment using a multidimensional socio-technical approach. PloS one, 15 (9), e0238739.
28. Bernik, I., & Prislán, K. (2016). Measuring information security performance with 10 by 10 model for holistic state evaluation. PloS one, 11 (9), e0163050.
29. Akhmetov, B., Lakhno, V., Yagaliyeva, B., Kydyralina, L., Oshanova, N., Adilzhanova, S. Conceptual Diagram of an Intelligent Decision Support System in the Process of Investing in Cybersecurity Systems, (2021) Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 99 (18), pp. 4297–4310.
30. Lakhno, V., Malyukov, V., Kasatkin, D., Blozva, A., Zhyrova, T., Kotenko, N., Kotova, M. Model for Supporting Decisions of Investors, Taking into Consideration Multifactoriality and Turnover, (2021) Communications in Computer and Information Science, 1388 CCIS, pp. 525–535.
31. Bebeshko, B., Khorolska, K., Kotenko, N., Kharchenko, O., & Zhyrova, T. (2021). Use of neural networks for predicting cyberattacks. Paper presented at the CEUR Workshop Proceedings, 2923, 213–223.
32. Lakhno, V., Akhmetov, B., Ydyryshbayeva, M., Bebeshko, B., Desiatko, A., Khorolska, K. (2021) Models for Forming Knowledge Databases for Decision Support Systems for Recognizing Cyberattacks. In: Vasant P., Zelinka I., Weber G. W. (eds) Intelligent Computing and Optimization. ICO 2020. Advances in Intelligent Systems and Computing, vol. 1324. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-68154-8_42
33. Khorolska, K., Lazorenko, V., Bebeshko, B., Desiatko, A., Kharchenko, O., Yaremych, V. (2022) Usage of Clustering in Decision Support System. In: Raj J. S., Palanisamy R., Perikos I., Shi Y. (eds) Intelligent Sustainable Systems. Lecture Notes in Networks and Systems, vol. 213. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-16-2422-3_49

НАУКОВЕ ВИДАННЯ

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ
ТА СУСПІЛЬСТВО**

**INFORMATION TECHNOLOGY
AND SOCIETY**

**ВИПУСК 2 (4)
ISSUE 2 (4)**

2022

Коректура
Ірина Чудеснова

Комп'ютерна верстка
Олена Данильченко

Формат 60x84/8. Гарнітура Cambria.
Папір офсет. Цифровий друк. Ум. друк. арк. 13,72. Замов. № 0722/297. Наклад 300 прим.

Видавництво і друкарня – Видавничий дім «Гельветика»
65101, Україна, м. Одеса, вул. Інглєзі, 6/1
Телефон +38 (095) 934 48 28, +38 (097) 723 06 08
E-mail: mailbox@helvetica.ua
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи
ДК No 7623 від 22.06.2022 р.